



# Redes Inteligentes: Habilitantes del desarrollo y la transición energética

*Alejandro Navarro Espinosa, PhD, MSc, MPP*

# Sobre mis lugares de trabajo



[www.systep.cl](http://www.systep.cl)



UNIVERSIDAD DE CHILE

*Consultora líder en toda la cadena de valor de los mercados energéticos, realizando estudios de financiamiento, compra y venta de activos de energía, planificación de sistemas eléctricos, proyección de costos marginales, estudios eléctricos estáticos y dinámicos para la conexión de nuevas centrales o equipos a la red, y asesoramiento regulatorio integral, apoyo en la creación de leyes, normas y reglamentos.*



fcfm

die

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA  
UNIVERSIDAD DE CHILE

Alejandro Navarro Espinosa, PhD.

[anavarro@systep.cl](mailto:anavarro@systep.cl)

Systep – Ingeniería y Diseños

Profesor Sistemas de Distribución y Redes inteligentes

Departamento de Ingeniería Eléctrica Universidad de Chile

# Partamos por el final...



La energía es importante para el desarrollo de la sociedad

El desarrollo económico se ha basado en el uso intensivo de combustibles fósiles.

El uso de estos combustibles nos ha llevado a una emergencia climática sin precedentes.

Las tecnologías bajas en emisiones de carbono conectadas en los sistemas de distribución son claves para enfrentar la crisis climática

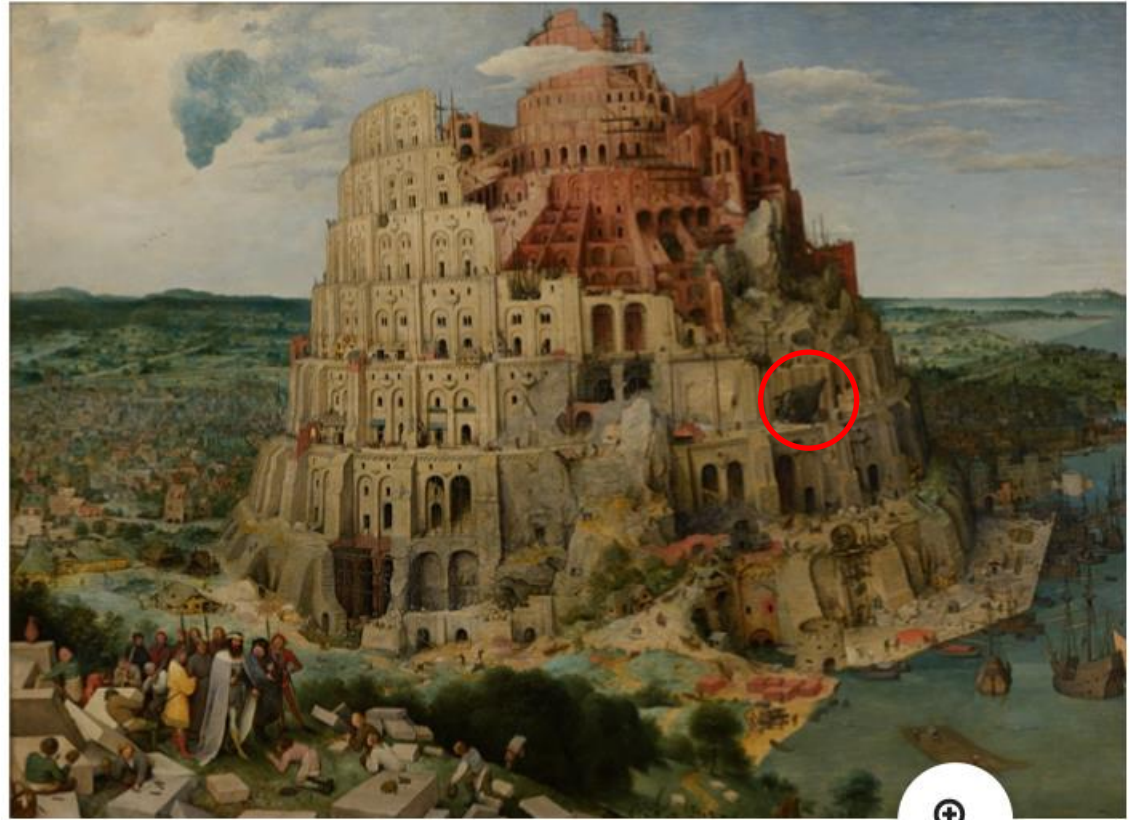
Las redes inteligentes son facilitadoras para la incorporación de tecnologías limpias, también incrementan la confiabilidad y resiliencia del sistema eléctrico.

Se requieren generar los incentivos regulatorios para que efectivamente las empresas de distribución inviertan en redes inteligentes.

# Importancia de la Energía para la Sociedad

- ¿Qué haríamos sin fuentes externas de energía?

Torre de Babel  
Pieter Brueghel  
1563

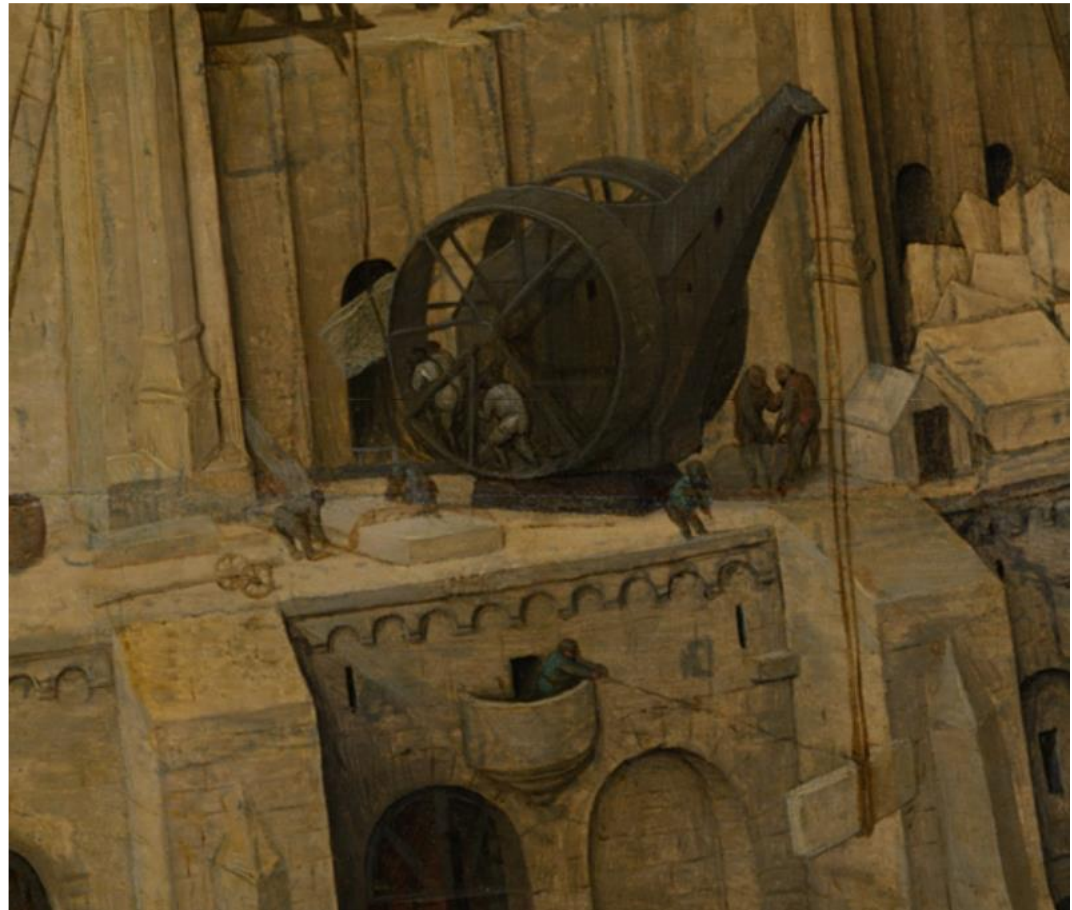


<https://artsandculture.google.com/asset/the-tower-of-babel/bAGKODJfvfAhYQ?hl=es-419>

# Importancia de la Energía para la Sociedad

- ¿Qué haríamos sin fuentes externas de energía?

Torre de Babel  
Pieter Brueghel  
1563



<https://artsandculture.google.com/asset/the-tower-of-babel/bAGKOdJfvfAhYQ?hl=es-419>



# Importancia de la Energía para la Sociedad

- **¿Qué haríamos sin fuentes externas de energía?**
  - Hasta antes del uso masivo de combustibles fósiles, los requerimientos energéticos eran suministrados primordialmente por el trabajo humano, apoyados del trabajo animal, el uso de biomasa, y el aprovechamiento de ríos y viento (de uso limitado).
  - La potencia continua que puede realizar un ser humano adulto está en el rango de 75-120 W.
  - Un caballo de fuerza es aproximadamente 750 W (745.69 W).

970 W



1850 W

(\*) Vaclav Smil, *Energy and Civilization*, 2017

# Importancia de la Energía para la Sociedad

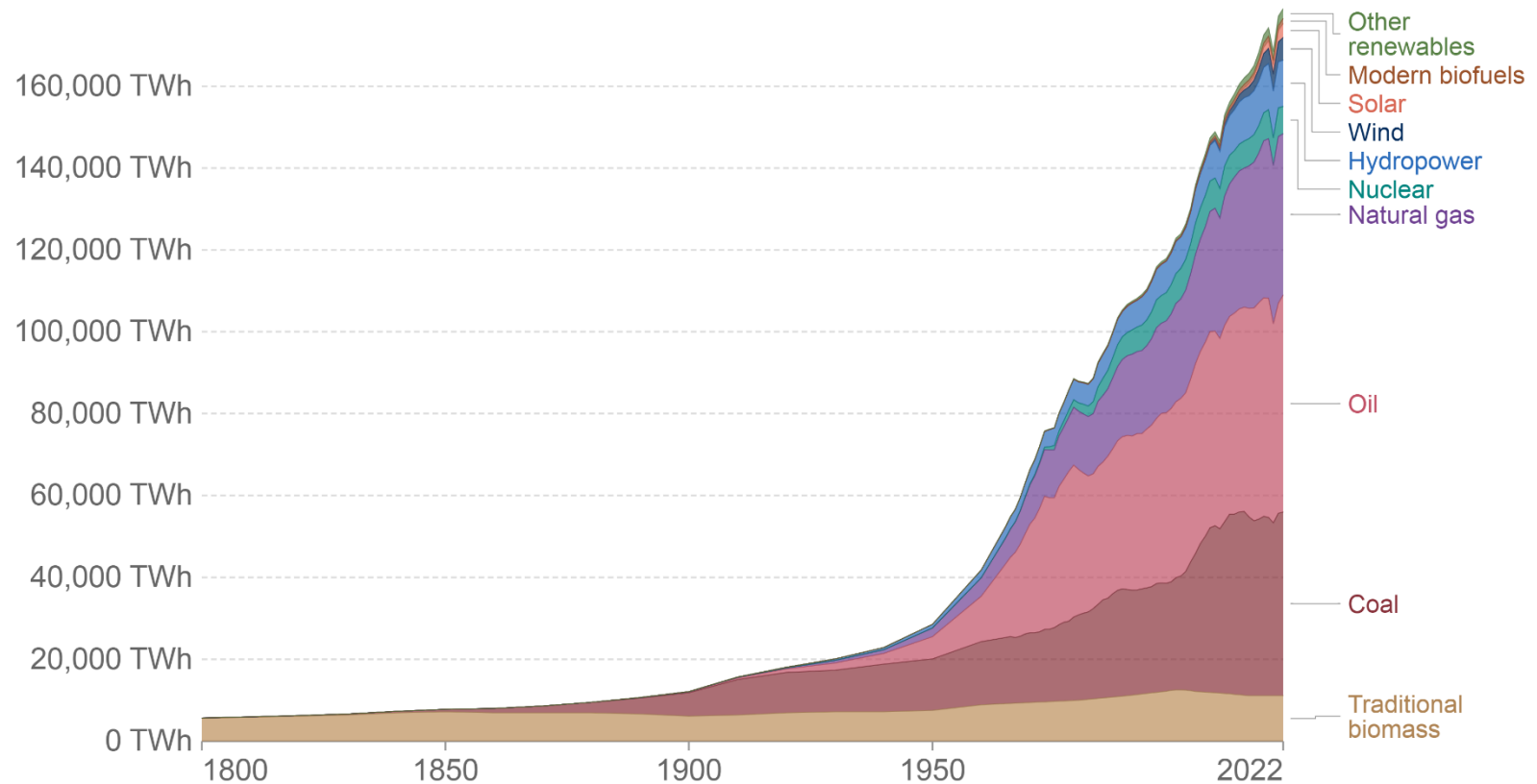
- Uso de combustibles fósiles (energía solar almacenada durante miles de años)
- Máquina a vapor: fue la primera máquina capaz de convertir en forma práctica, económica y confiable, la energía química del carbón en energía mecánica que puede ser usada para realizar trabajo (Newcomen, 1750 y James Watt, 1769). (20 kW-100 kW)
- **Fines del siglo XIX y comienzo del XX, consolidación de turbinas de vapor y motores de combustión interna como las principales fuentes de potencia para la sociedad.**
- Inicio de la explotación industrial de petróleo 1859: Oil Creek (Pensilvania).

# Desarrollo y combustibles fósiles

Our World  
in Data

## Global primary energy consumption by source

Primary energy is calculated based on the 'substitution method' which takes account of the inefficiencies in fossil fuel production by converting non-fossil energy into the energy inputs required if they had the same conversion losses as fossil fuels.



Source: Energy Institute Statistical Review of World Energy (2023); Vaclav Smil (2017)  
OurWorldInData.org/energy • CC BY



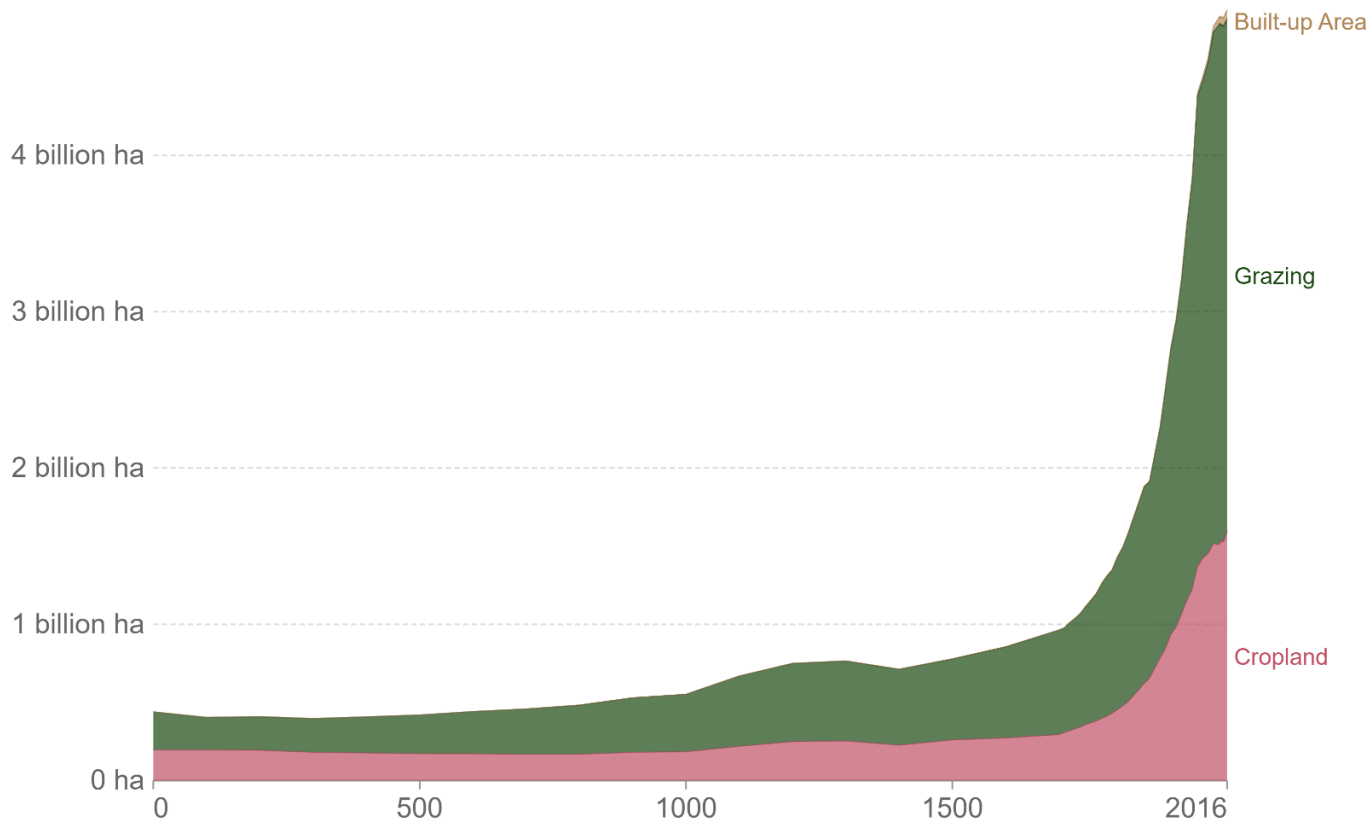
# Desarrollo y combustibles fósiles

- **Mayor uso de energía y producción agrícola**

## Land use over the long-term, World, 0 to 2016

Total land area used for cropland, grazing land and built-up areas (villages, cities, towns and human infrastructure).

Our World  
in Data



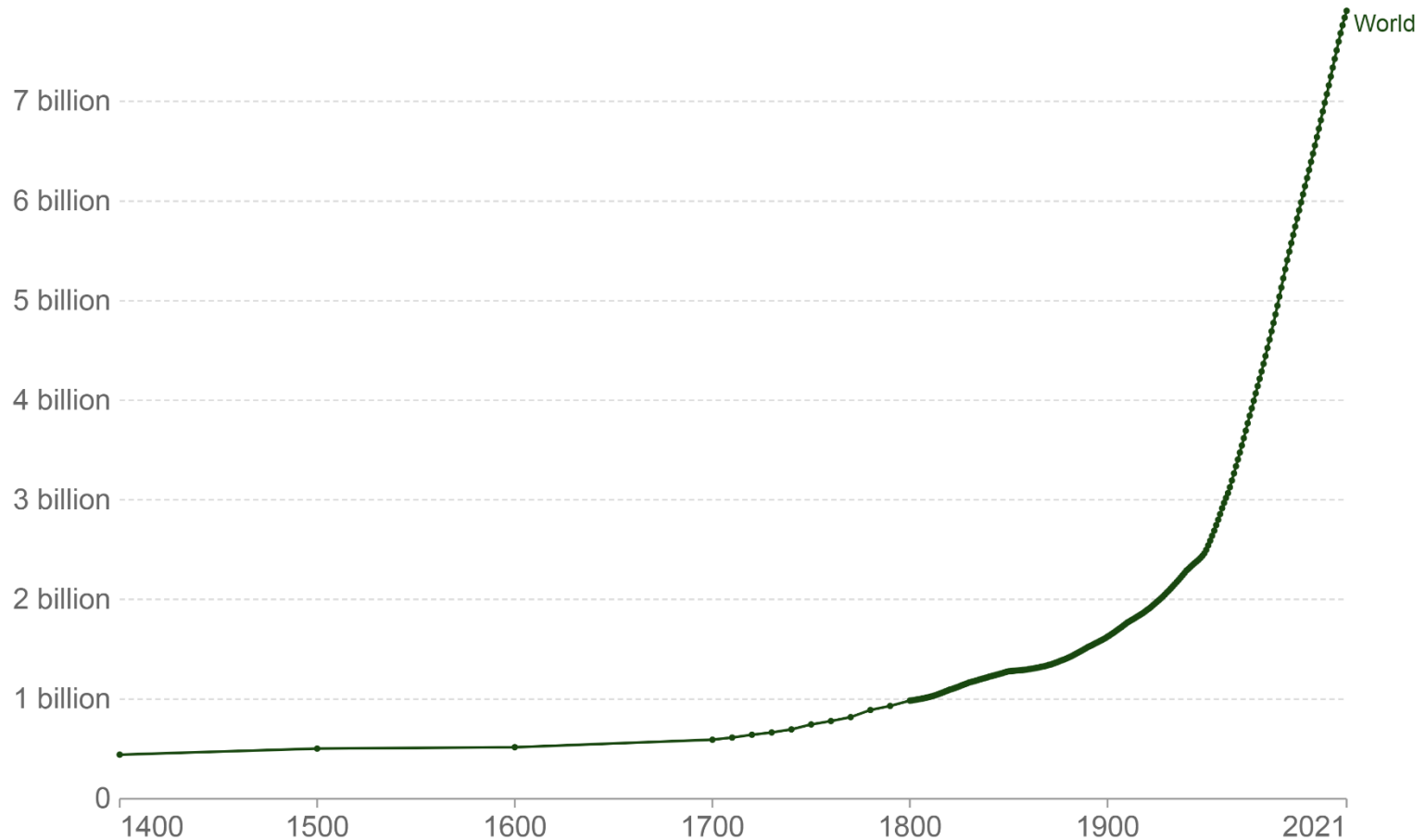
Source: History Database of the Global Environment (HYDE)

OurWorldInData.org/land-use • CC BY

# Desarrollo y combustibles fósiles

Population, 1400 to 2021

Our World  
in Data



Source: HYDE (2017); Gapminder (2022); UN (2022)

Note: Historical country data is shown based on today's geographical borders.

OurWorldInData.org/world-population-growth • CC BY

# Energía y Crisis Climática

- El calentamiento global es probablemente el mayor problema que enfrenta nuestra sociedad.
- El Panel Intergubernamental por el Cambio Climático, IPCC, señala que de no hacer nada, la temperatura promedio de la tierra podría incrementarse en 4°C hacia finales de siglo.
- Lo que con alta probabilidad implicará la extinción de especies, inseguridad alimentaria y pocas posibilidades de adaptación.
- Esto puede ser aminorado si se toman medidas de control de emisiones que **limiten el alza de la temperatura promedio a 2°C**

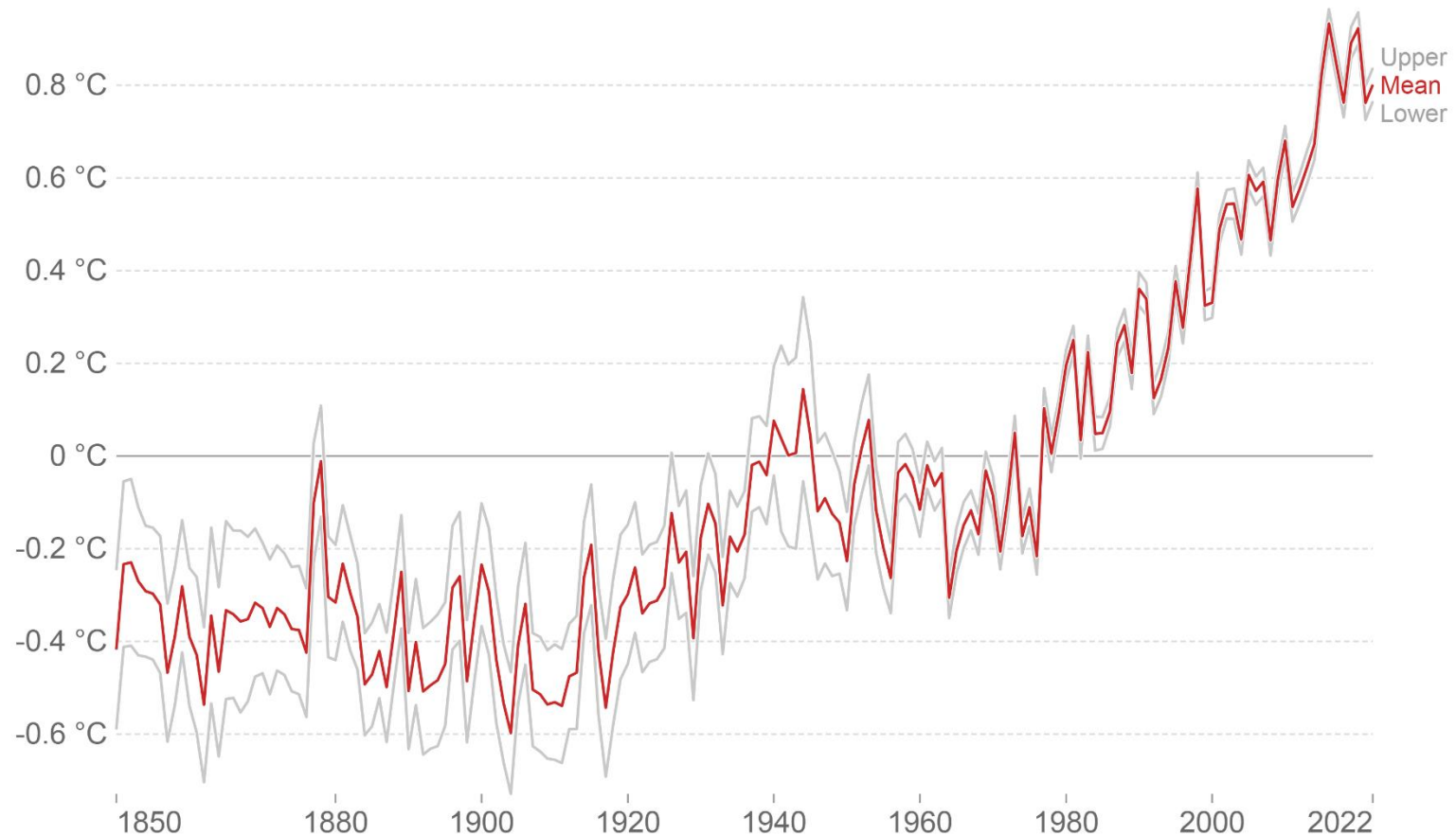
United Nations, “Paris Agreement on Climate Change,” United Nations Framework Convention on Climate Change, 2016. [Online]. Available: [http://unfccc.int/paris\\_agreement/items/9485.php](http://unfccc.int/paris_agreement/items/9485.php).

# Energía y Crisis Climática

## Average temperature anomaly, Global

Global average land-sea temperature anomaly relative to the 1961-1990 average temperature.

Our World  
in Data



Source: Met Office Hadley Centre (HadCRUT5)

OurWorldInData.org/co2-and-greenhouse-gas-emissions • CC BY

Note: The gray lines represent the upper and lower bounds of the 95% confidence intervals.

# Energía y Crisis Climática

## Annual CO<sub>2</sub> emissions

Carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) emissions from fossil fuels and industry<sup>1</sup>. Land use change is not included.

Our World  
in Data



Source: Global Carbon Budget (2022)

OurWorldInData.org/co2-and-greenhouse-gas-emissions • CC BY

**1. Fossil emissions:** Fossil emissions measure the quantity of carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) emitted from the burning of fossil fuels, and directly from industrial processes such as cement and steel production. Fossil CO<sub>2</sub> includes emissions from coal, oil, gas, flaring, cement, steel, and other industrial processes. Fossil emissions do not include land use change, deforestation, soils, or vegetation.

# Energía y Crisis Climática

## Global greenhouse gas emissions and warming scenarios

Our World  
in Data

- Each pathway comes with uncertainty, marked by the shading from low to high emissions under each scenario.
- Warming refers to the expected global temperature rise by 2100, relative to pre-industrial temperatures.

Annual global greenhouse gas emissions  
in gigatonnes of carbon dioxide-equivalents

150 Gt

100 Gt

50 Gt

Greenhouse gas emissions  
up to the present

0

1990 2000 2010 2020 2030 2040 2050 2060 2070 2080 2090 2100

No climate policies

4.1 – 4.8 °C

→ expected emissions in a baseline scenario if countries had not implemented climate reduction policies.

Current policies

2.5 – 2.9 °C

→ emissions with current climate policies in place result in warming of 2.5 to 2.9°C by 2100.

Pledges & targets (2.1 °C)

→ emissions if all countries delivered on reduction pledges result in warming of 2.1°C by 2100.

2°C pathways

1.5°C pathways

Data source: Climate Action Tracker (based on national policies and pledges as of November 2021).

OurWorldinData.org – Research and data to make progress against the world's largest problems.

Last updated: April 2022.

Licensed under CC-BY by the authors Hannah Ritchie & Max Roser.



# Todos podemos aportar

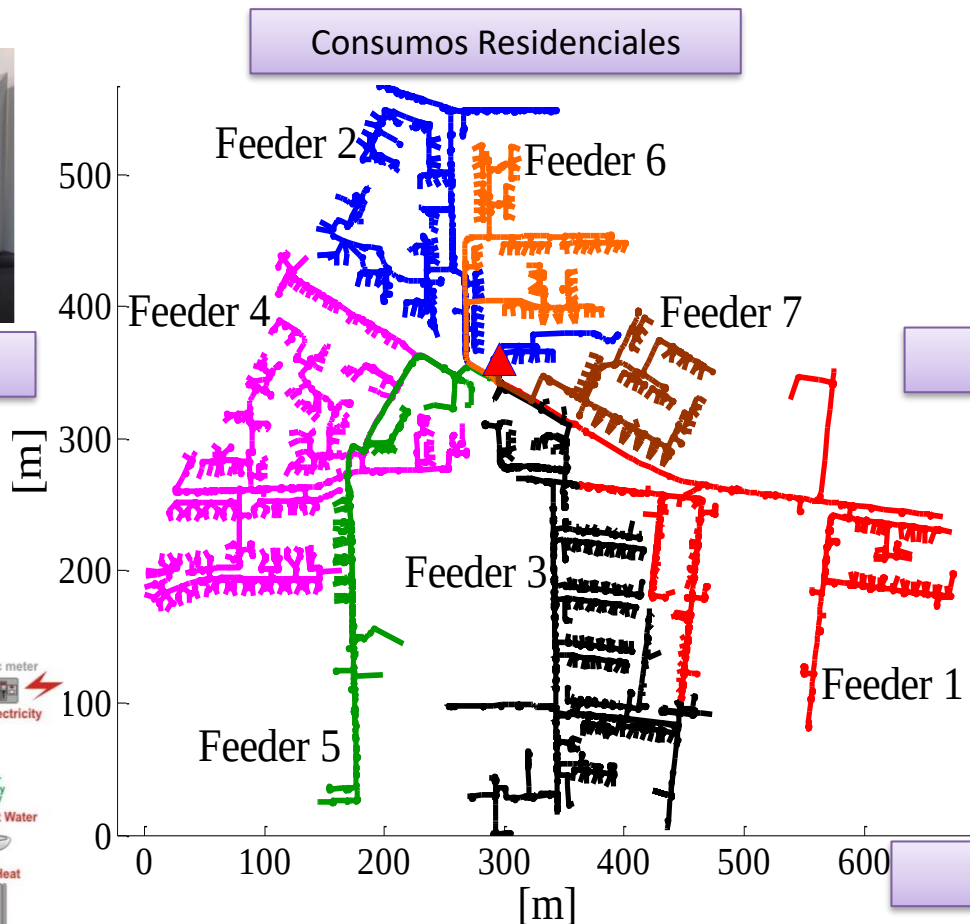
- La crisis climática es un hecho y debemos hacer algo al respecto!!!
- Afortunadamente, una de las soluciones está en nuestras manos (**...en nuestros enchufes**)



# Tecnologías bajas en emisiones en distribución

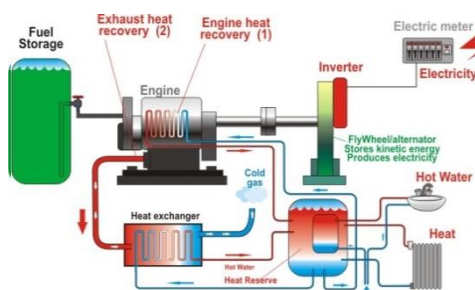


Vehículos Eléctricos



Paneles Solares

Micro - cogeneración



Bombas de Calor

Redes de Distribución

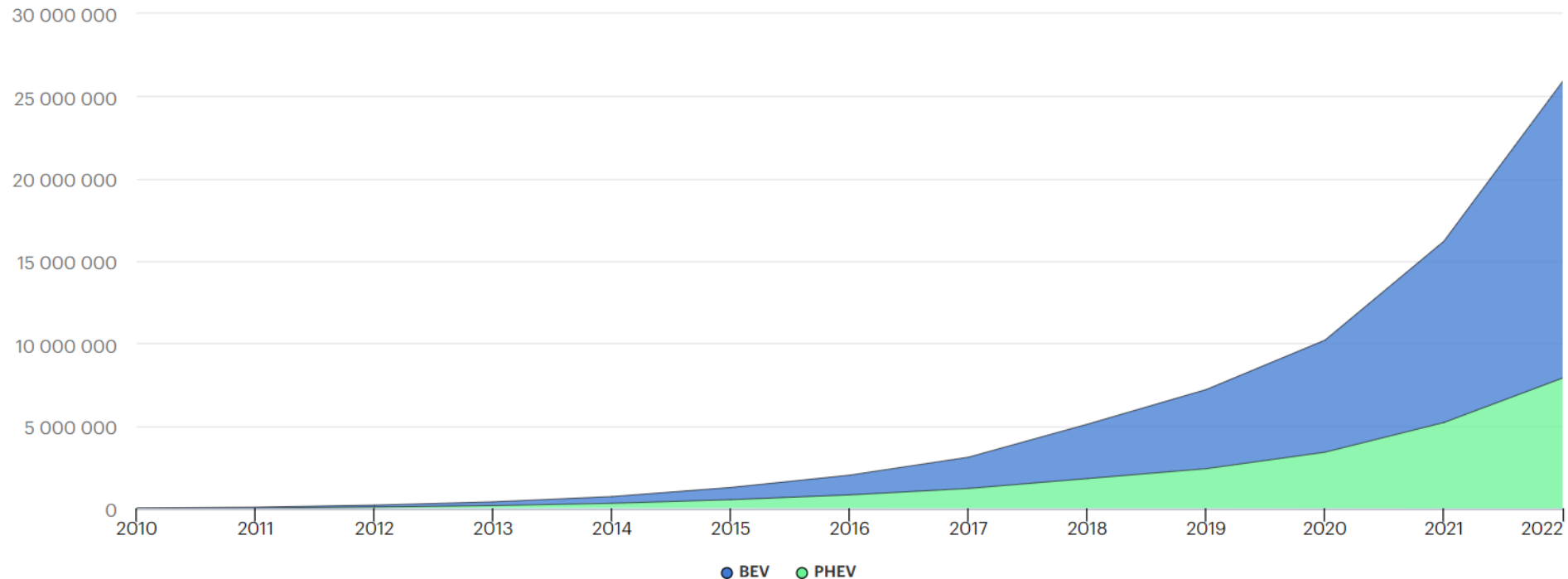
# Tecnologías bajas en emisiones en distribución

- Sistemas de gran tamaño y con comportamiento variado de las cargas que lo componen – **cada consumo puede ser un agente de cambio**



# Aumento de electro-movilidad

**Total de Vehículos Eléctricos - Stock**



**25.9 millones de vehículos Eléctricos, siendo el 69%, 18 millones, full eléctricos**

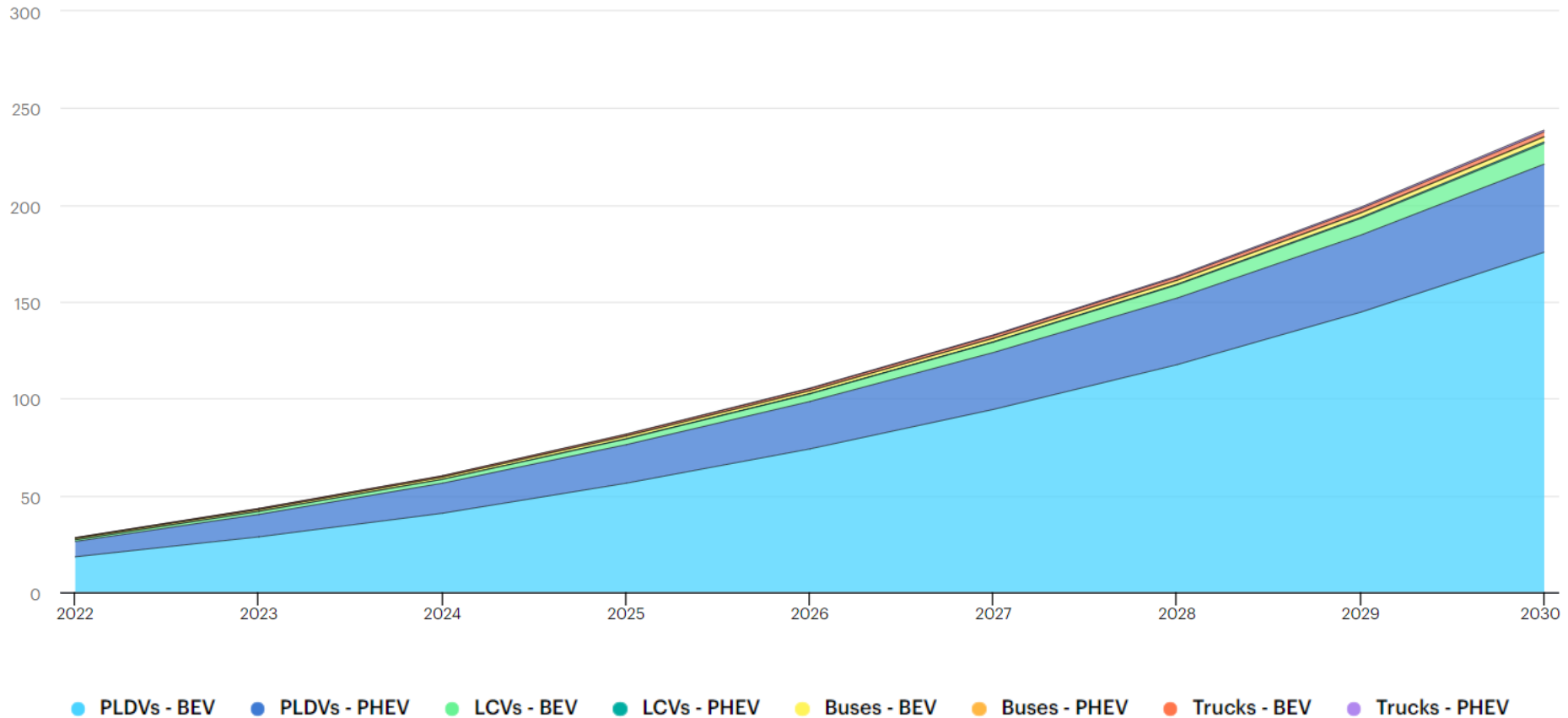
<https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/global-ev-data-explorer>



# Aumento de electro-movilidad

million vehicles

<https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/electric-vehicle-stock-by-mode-in-the-stated-policies-scenario-2022-2030>



**Vehículos Eléctricos: ¿Qué se espera?**

# Aumento de electro-movilidad

- Ya comienza a ser realidad



**Dentro de la ciudad**

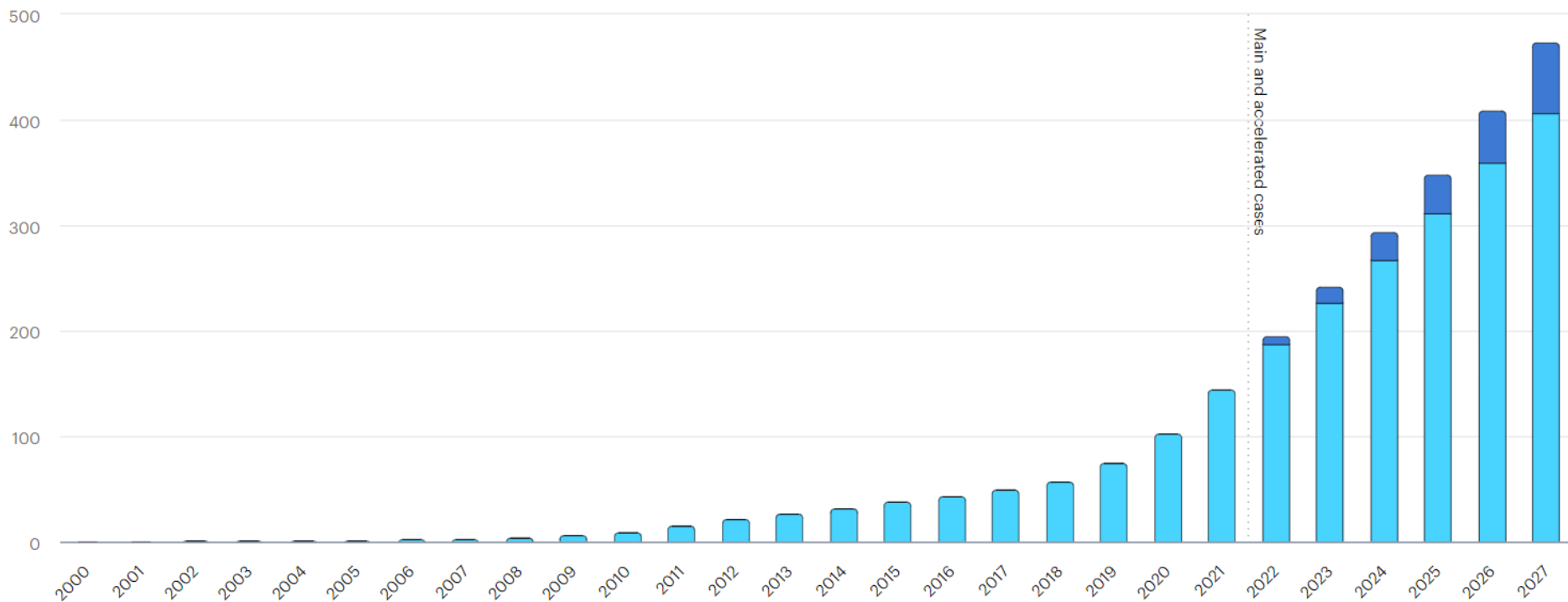
**Entre ciudades**

250 km de autonomía  
314 kWh de almacenamiento



# Aumento de GD residencial PV

GW

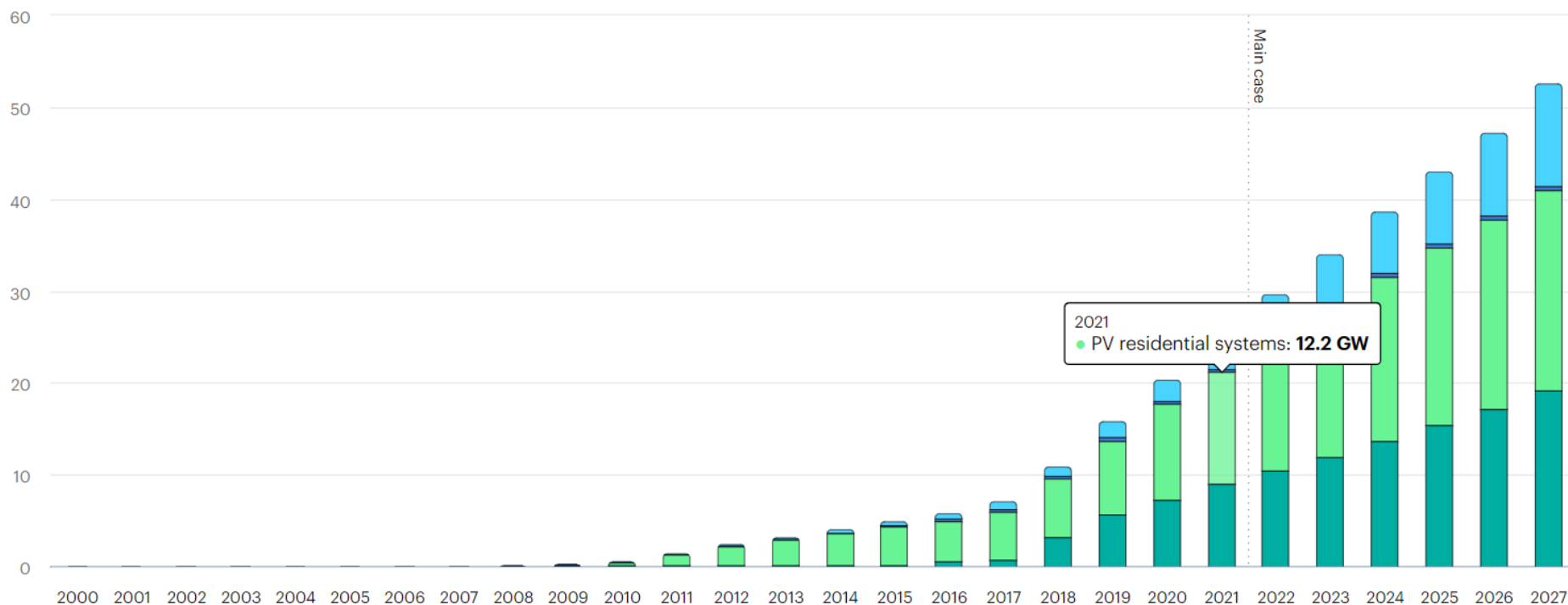


<https://www.iea.org/reports/renewables-2022>

International Energy Agency

# Aumento de GD residencial PV

GW



<https://www.iea.org/reports/renewables-2022>

Australia



# Aumento de GD residencial PV

- O al menos esta llegando lentamente ☺ - caso Australia



Casi el 30% de los hogares en el estado que Queensland tiene paneles solares residenciales.

**Australia's solar power boom could almost double capacity in a year, analysts say**

**Solar farm approvals and record rooftop installations expected to 'turbo-boost' production**

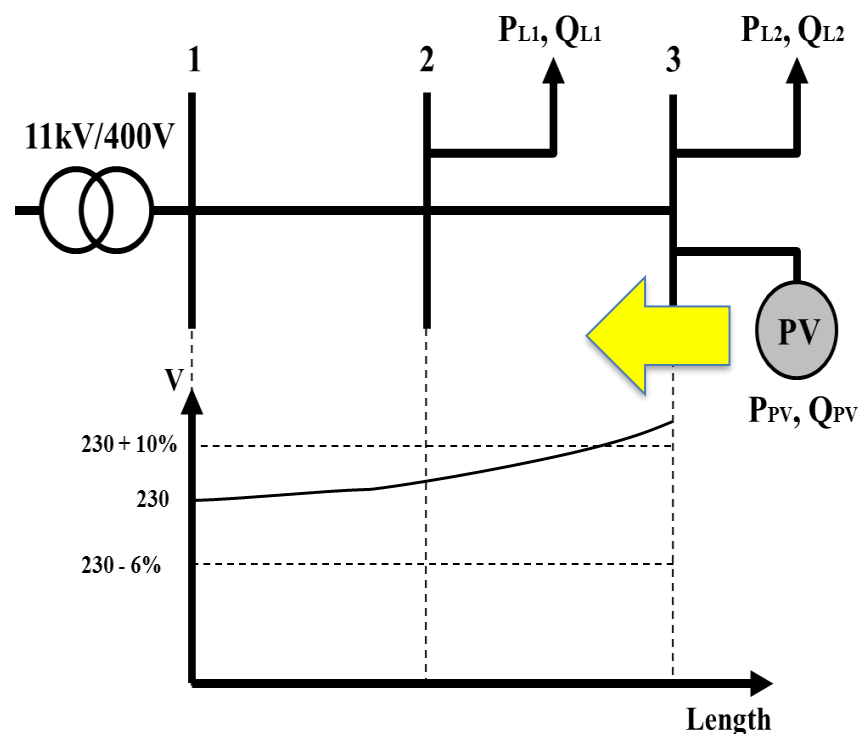
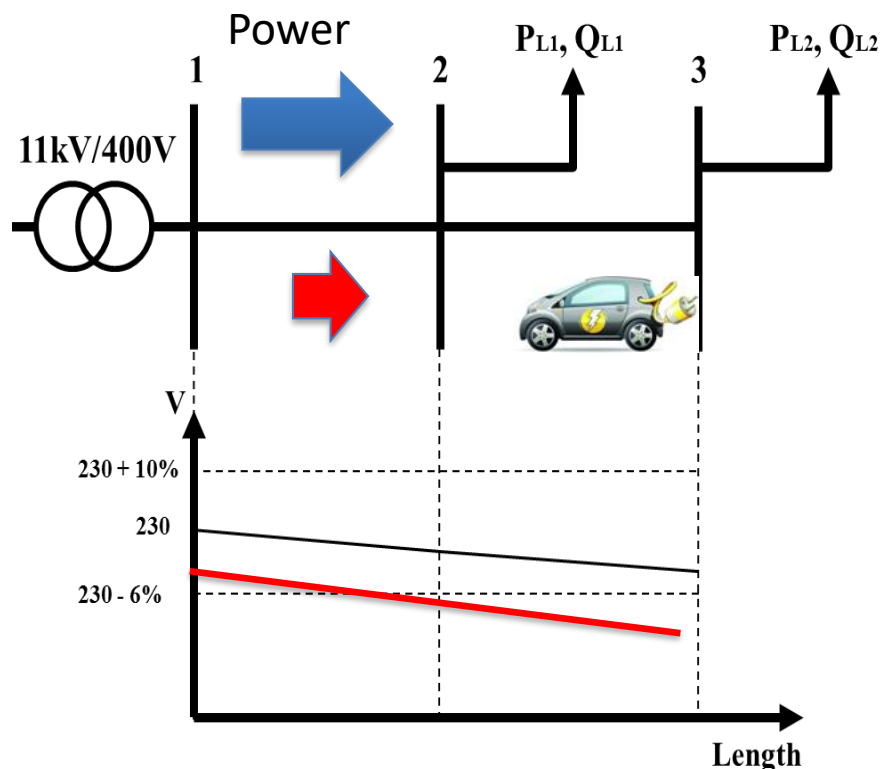


In Queensland, residential solar panels are already the state's largest source of energy, producing more combined than the 1.7GW Gladstone power station. Just under a third (30%) of residential homes in the state have solar installed - the most in the country.

▲ Last month was the biggest January on record for rooftop installation of solar panels, according to RenewEconomy and SunWiz. Photograph: Lucy Hughes Jones/AAP

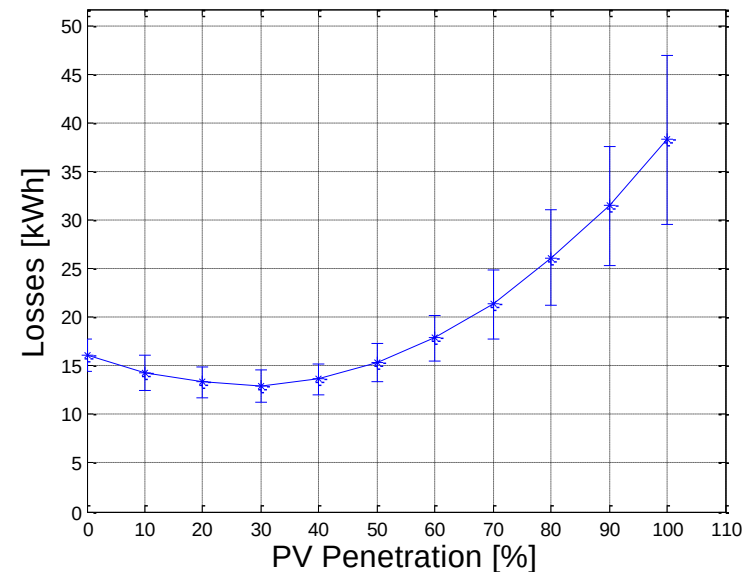
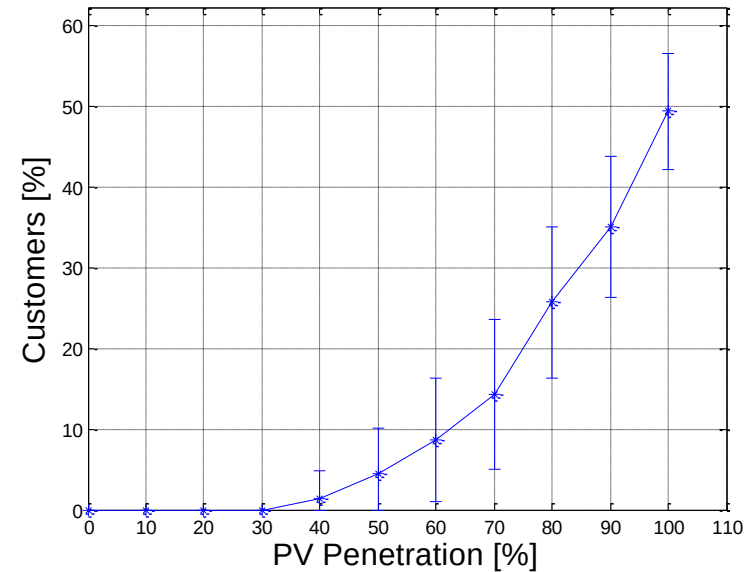
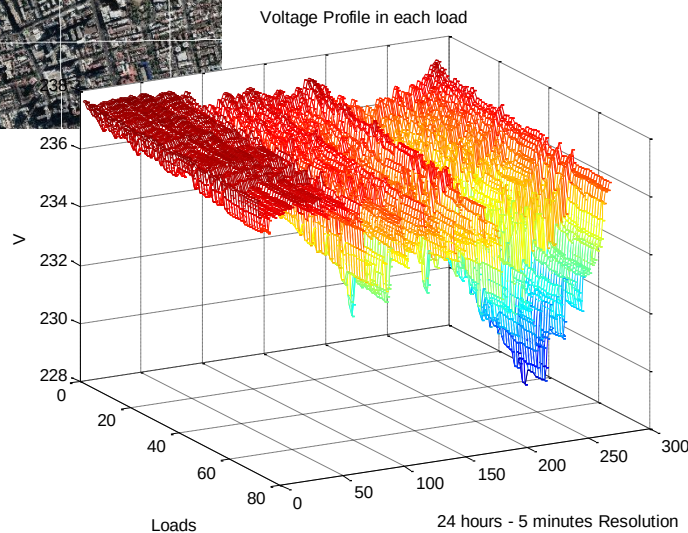
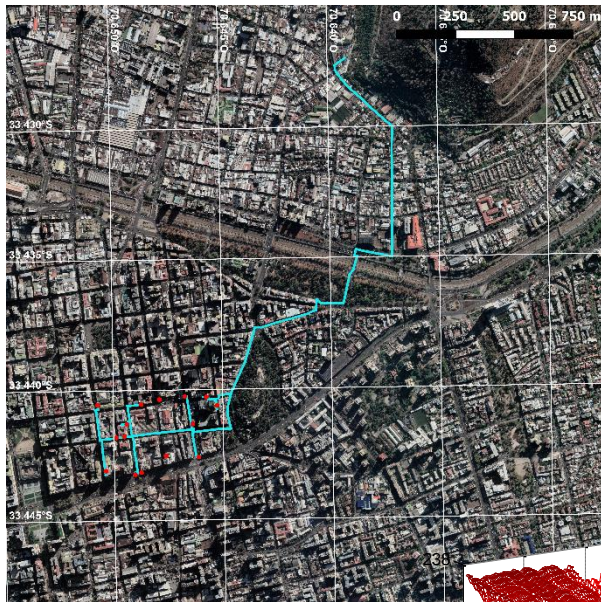
# Impactos técnicos de las nuevas tecnologías

- Las redes de distribución a las cuales se conectan las LCTs no fueron diseñadas pensando en su incorporación.



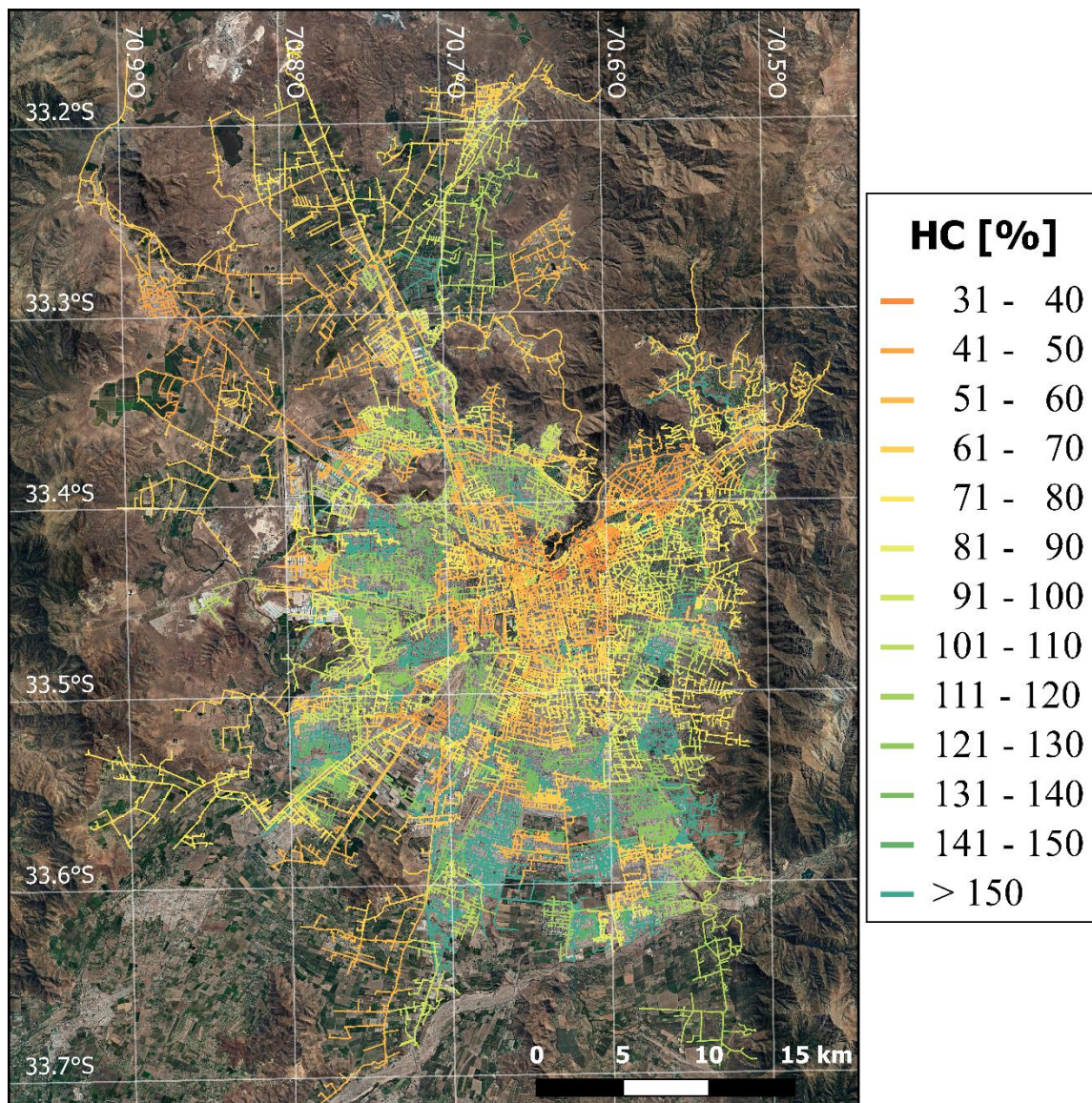
# Impactos técnicos de las nuevas tecnologías

- Ejemplo de una red – Caso PV





# Impactos técnicos de las nuevas tecnologías

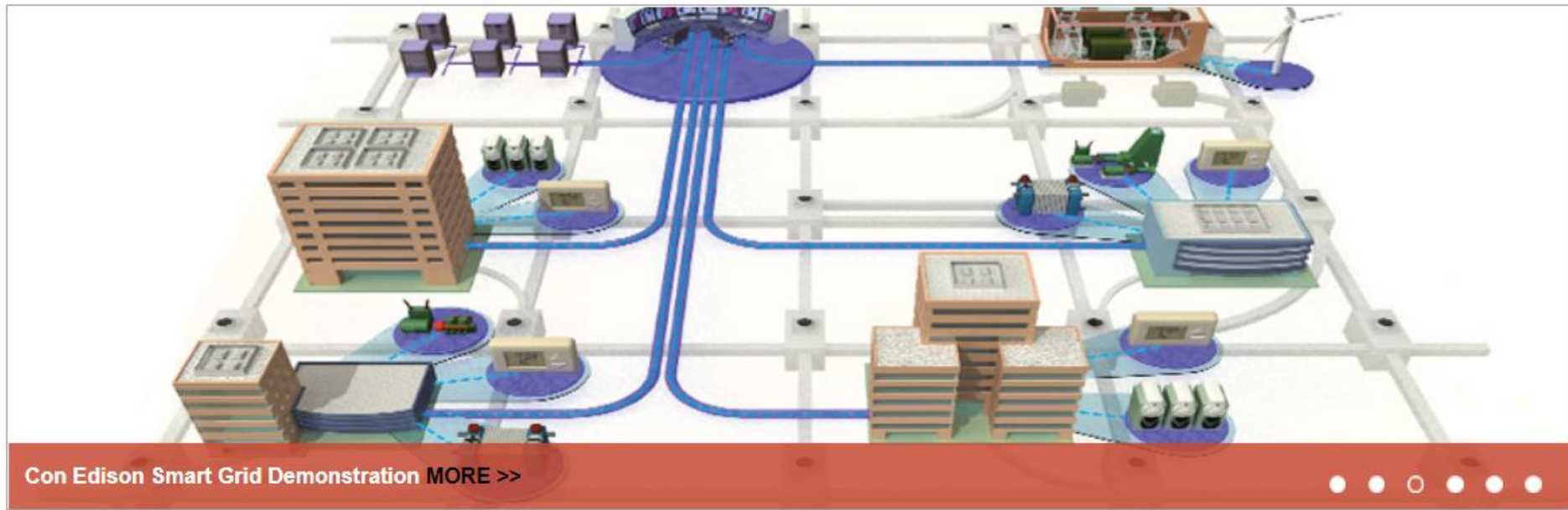


- Es posible determinar para cada alimentador de la zona analizada cuál es el “hosting capacity” de cada una de ellas.
- Se puede determinar aquel nivel de adopción que no causa problema en ninguna de las redes.
- HC ultra conservador: 35%
- HC conservador: 40%

---

**¿Cómo minimizar los potenciales impactos?**

# Redes Inteligentes - Definición



A Smart Grid is one that incorporates information and communications technology into every aspect of electricity generation, delivery and consumption in order to minimize environmental impact, enhance markets, improve reliability and service, and reduce costs and improve efficiency.

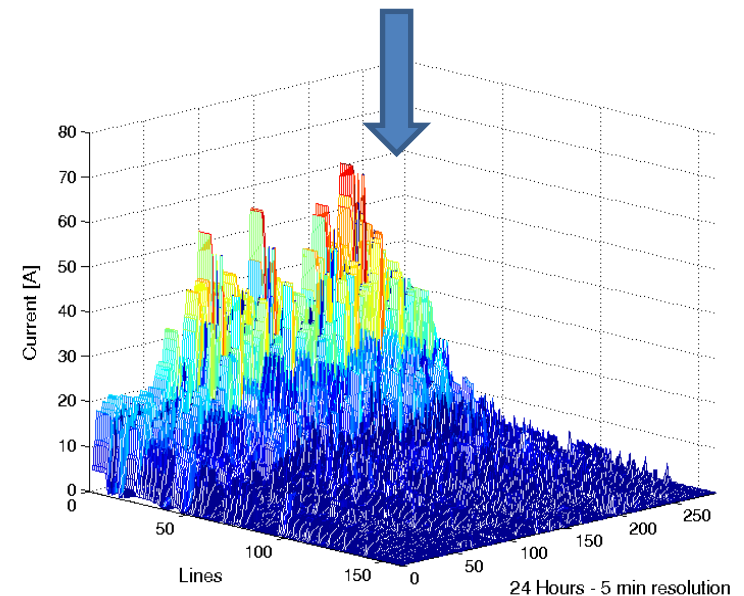
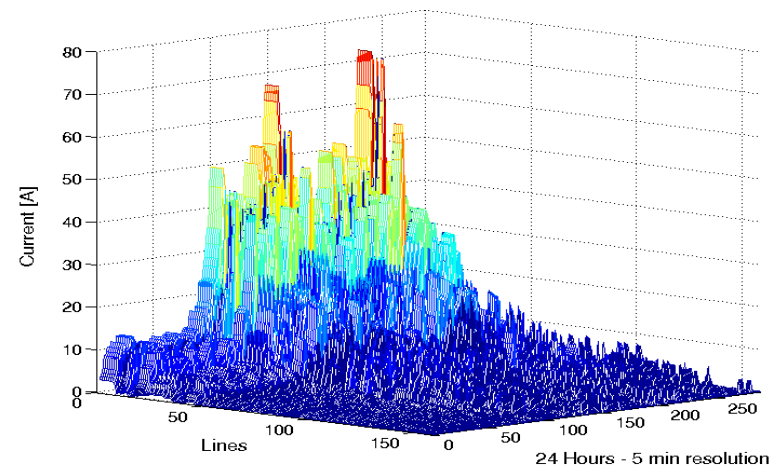
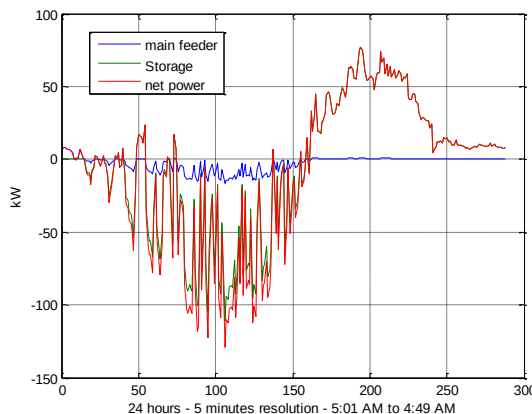
A Smart Grid is one that incorporates **information and communications technology into every aspect of electricity generation**, delivery and consumption in order to **minimize environmental impact, enhance markets, improve reliability and service, and reduce costs and improve efficiency**

<http://smartgrid.epri.com/>

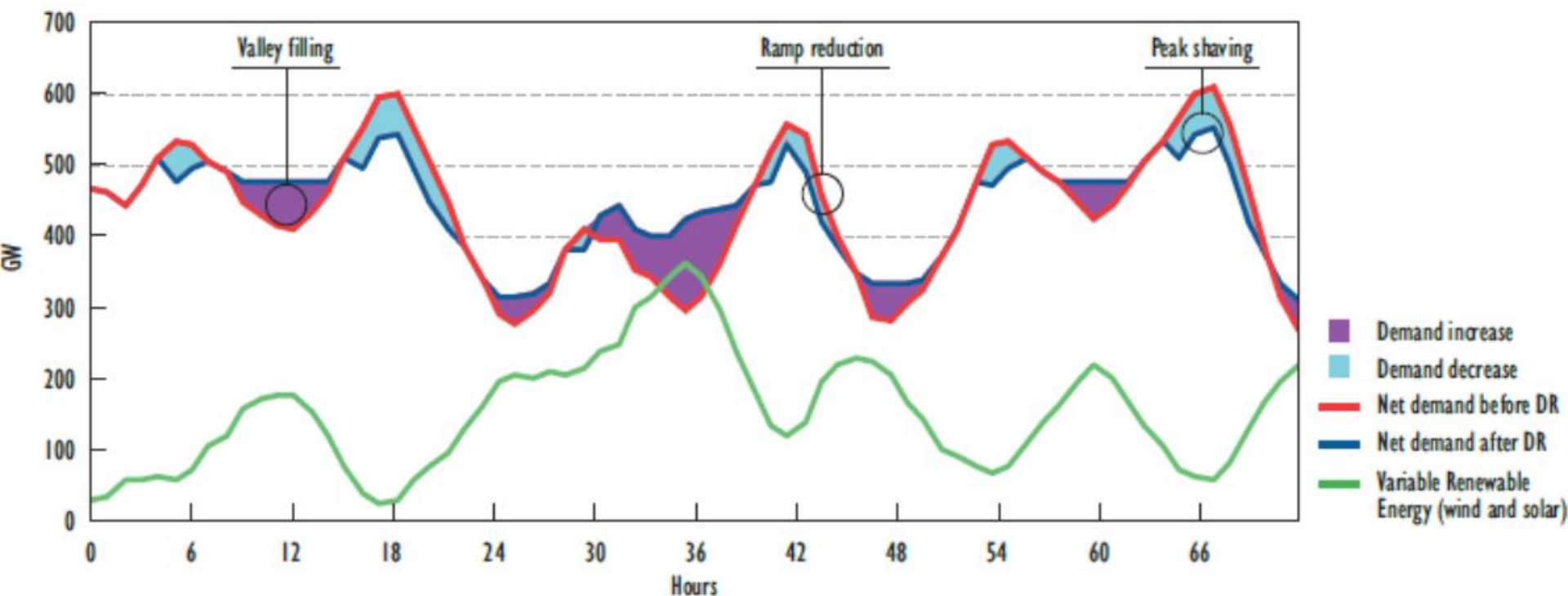


# Redes Inteligentes – Facilitadores de adopción

- Gestión de carga de vehículos eléctricos puede evitar problemas técnicos en la red.
- Manejo de factor de potencia de inversores de generación distribuida puede ayudar a la regulación de tensión del sistema.
- Incorporación de sistemas de almacenamiento puede evitar problemas de sobrecarga y de tensión en la red.



# Redes inteligentes para nuevos servicios



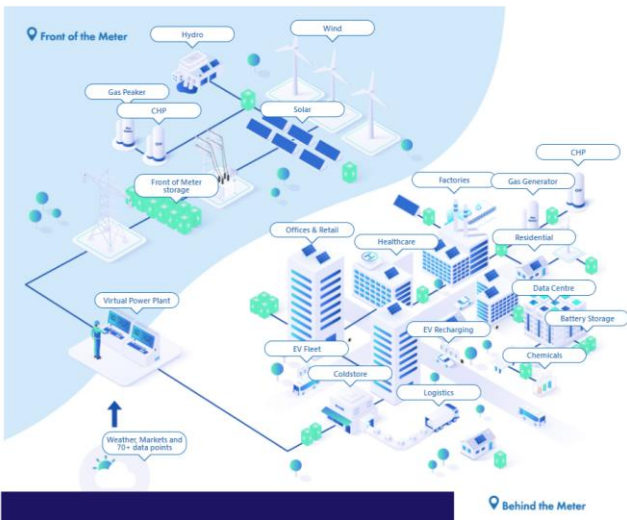
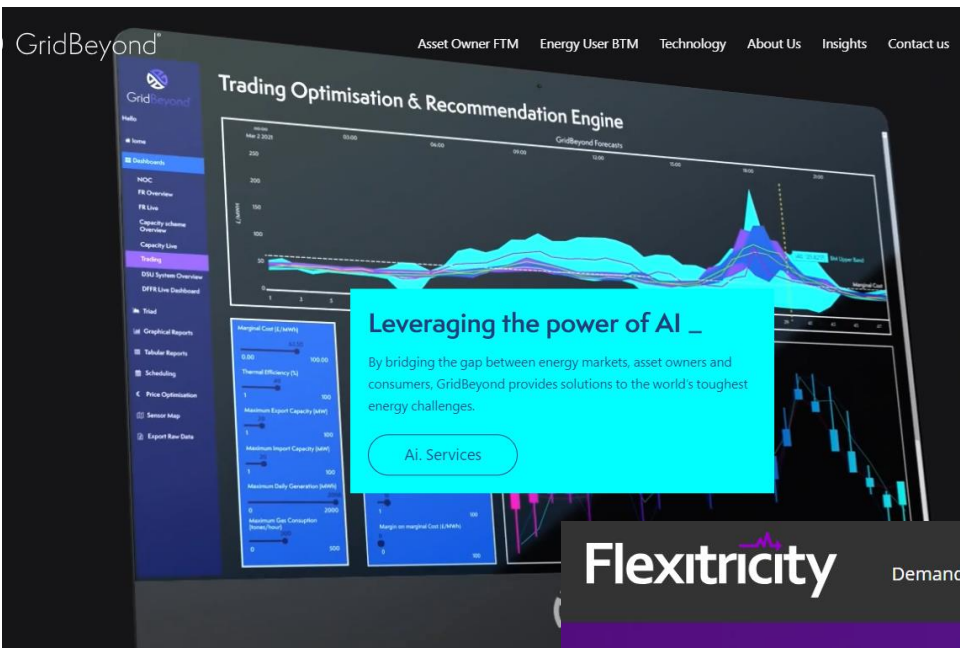
**¿Se podrían vender servicios complementarios desde la distribución?**

Podrían vender estos servicios la propia distribuidora, los consumidores, o un agregador.

Repowering markets ([www.iea.org](http://www.iea.org))

# Redes inteligentes para nuevos servicios

<https://gridbeyond.com/>



**Empresas que venden servicios desde la distribución (demand response)**

<https://www.flexitricity.com/en-gb/>



[About](#)[FAQ](#)[Blog](#)[Knowledge Centre](#)

[Demand Response](#)[Revenue Sources](#)[Flexitricity+ Energy Supply](#)[Case Studies](#)[Your Business](#)[Carbon](#)[Contact](#)

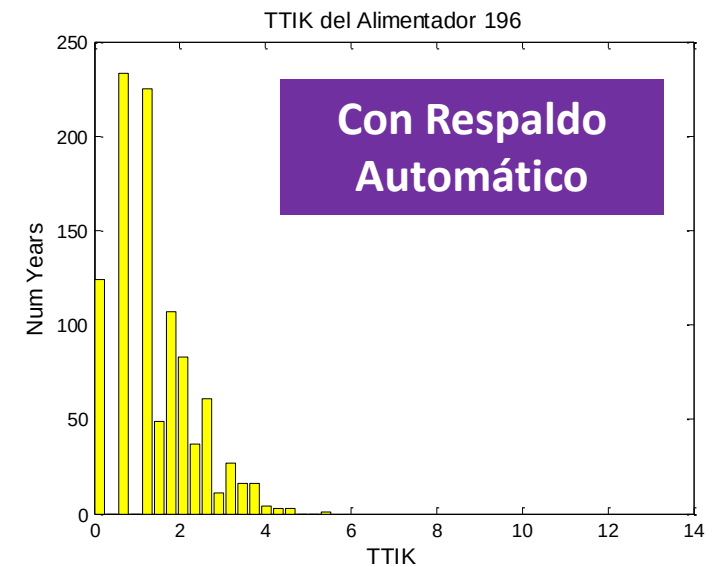
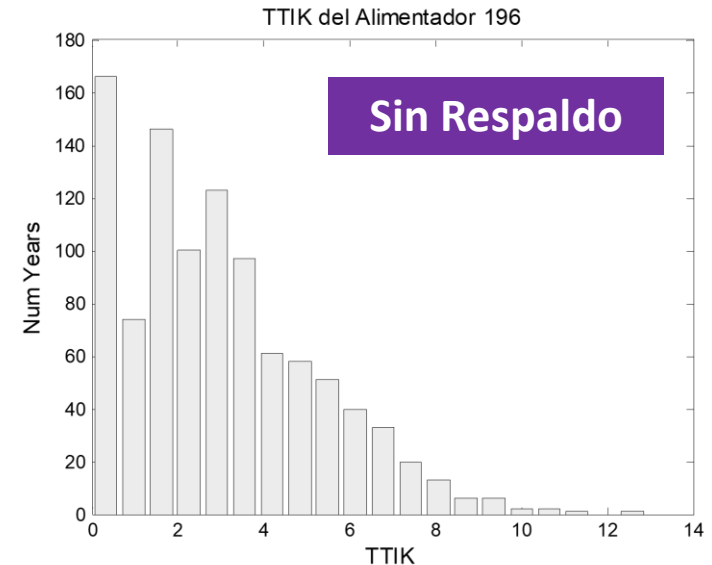
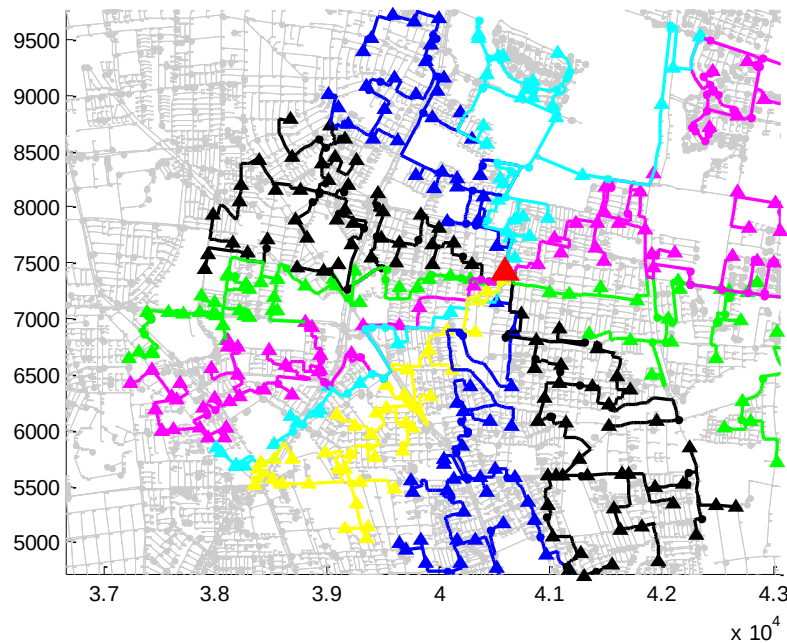
## Demand Response. Delivered.

We generate new revenue from your energy assets, cutting emissions and protecting core business around the clock. We're the largest, most diverse and best-engineered demand-response company in Britain.



# Redes Inteligentes para mayor confiabilidad

- ¿Cómo aumentar los niveles de confiabilidad?
- ¿Cuánto cuesta mover los indicadores de confiabilidad desde un valor X a un valor Y?





# Redes Inteligentes para mayor resiliencia

- ¿Cómo recuperamos el suministro eléctrico frente a eventos poco probables pero de alta complejidad?



Terremotos



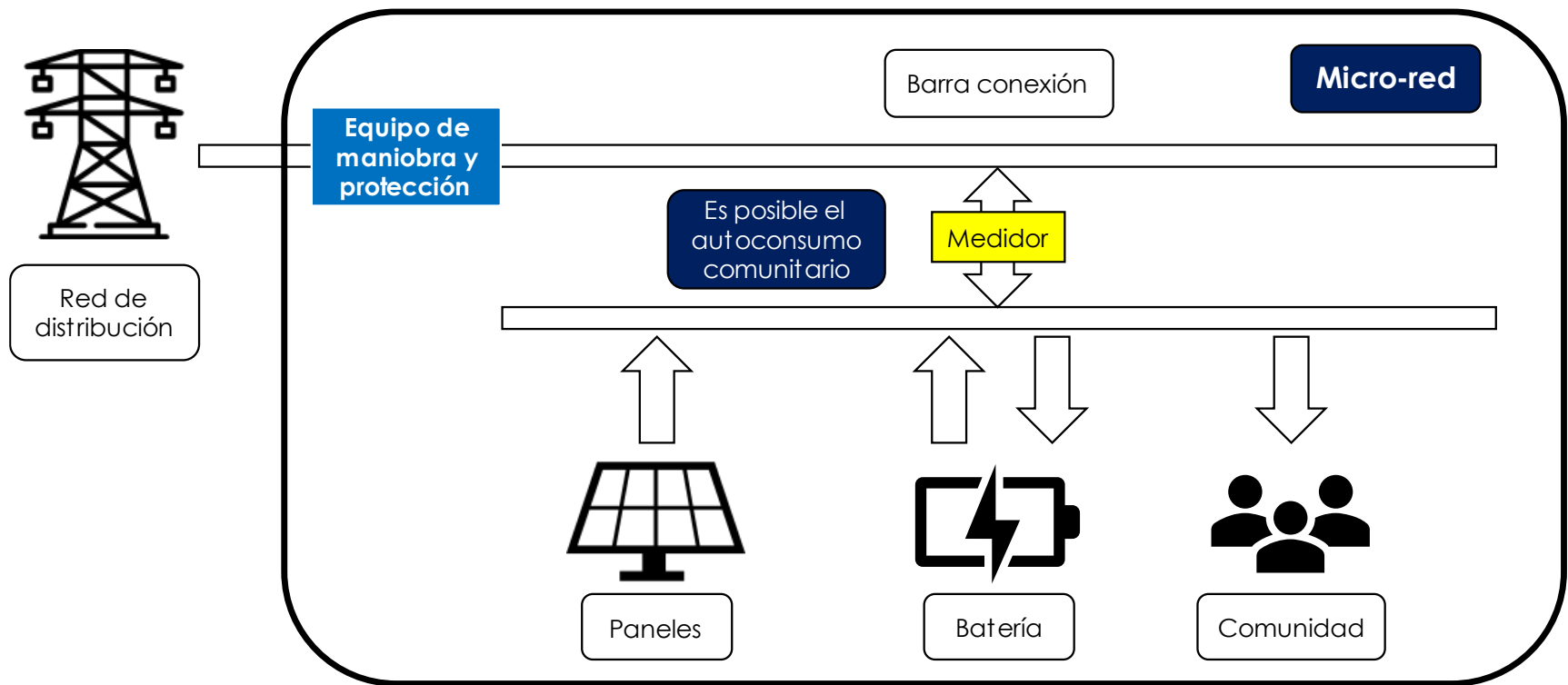
Inundaciones

¿Debiese hacerse cargo la regulación de un sobredimensionamiento suficiente para enfrentar este tipo de eventos?



# Incorporación de microrredes urbanas

- Microrred: Red inteligente con la posibilidad de operar aislada de la red principal (redes de emergencia, soporte de cargas críticas, etc.).



**¿cómo permitir la agrupación de vecinos para la realización de una microrred?**

# Desafíos regulatorios ...

- ¿Cómo aprovechar y facilitar la conexión de nuevas tecnologías bajas en emisiones de carbono a los sistemas de distribución?
- ¿Cómo generar los incentivos para que la red tenga la capacidad suficiente para alojar las nuevas tecnologías (para niveles altos de adopción)?
- ¿Cómo lograr aumentar la calidad de suministro (disminuir el número de interrupciones) en nuestra región?
- ¿Podríamos incorporar el concepto de resiliencia a nuestra regulación? ¿cómo garantizar las inversiones que serían necesarias?
- ¿Cómo facilitar la provisión de servicios de flexibilidad desde los sistemas de distribución al resto del sistema de potencia?
- ¿Cómo permitir la incorporación de microrredes urbanas en los sistemas de distribución?

**¿es la regulación actual un habilitante?**

# Regulación Empresa Modelo - VAD

- Se construye empresa ficticia para satisfacer **a mínimo costo** la demanda proyectada en una zona geográfica determinada (zona de concesión de la empresa regulada)
- **Se construye desde cero** sin considerar a la empresa real (pero debe cumplir con los estándares de calidad exigidos a la empresa regulada), por lo que no hay incentivos para abultar sus costos o su inversión, ya que la tarifa no depende de las inversiones reales.
- **Plan de inversión no es vinculante** (las inversiones de la empresa modelo no tienen porque ser llevadas a la práctica por la empresa real).
- Estudio estima costos de inversión (VI) y costos de operación, mantenimiento y administración (COMA) de la empresa modelo **cada 4 años** (estudio realizado por las empresas y supervisado por OSINERGMIN)

# Desafíos para las redes inteligentes

Dado que cada 4 años se determina una empresa que parte de cero:

- ¿qué garantiza que inversiones relevantes en tecnología sean reconocidas en el siguiente período tarifario?
- ¿cómo incentivar inversiones en sistemas de almacenamiento u otra infraestructura de alto valor (resiliencia) si no existe garantía de recuperar tal inversión?
- ¿es posible hacer convivir el régimen de empresa modelo con el de algunas inversiones garantizadas (como hoy sucede en Perú por ejemplo con los planes de mejora de calidad de suministro)?
- ¿cómo garantizar que para mantener las tarifas en un determinado nivel, lo que se reconoce en planes de mejora no se descuente en la empresa modelo?

**Necesidad de discutir el modelo regulatorio**



# Volviendo al comienzo... (Conclusión)



La energía es importante para el desarrollo de la sociedad

**El desarrollo económico se ha basado en el uso intensivo de combustibles fósiles.**

El uso de estos combustibles nos ha llevado a una emergencia climática sin precedentes.

**Las tecnologías bajas en emisiones de carbono conectadas en los sistemas de distribución son claves para enfrentar la crisis climática**

Las redes inteligentes son facilitadoras para la incorporación de tecnologías limpias, también incrementan la confiabilidad y resiliencia del sistema eléctrico.

**Se requieren generar los incentivos regulatorios para que efectivamente las empresas de distribución inviertan en redes inteligentes.**



# Gracias

Contacto: Alejandro Navarro Espinosa – [anavarro@systep.cl](mailto:anavarro@systep.cl)