

# Retos matemáticos en las redes eléctricas inteligentes

Cruz Enrique Borges Hernández

`cruz.borges@deusto.es`



Ciclo de Talleres «Matemáticas en Acción» 2012-2013



This work is licensed under the *Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 License*.

## Entender...

los sistemas eléctricos modernos y las decisiones que nos han llevado a su estado actual  
los retos [matemáticos] presentes en ellos



## Entender...

- ... los sistemas eléctricos modernos y las decisiones que nos han llevado a su estado actual
- ... los retos [matemáticos] presentes en ellos



## Entender...

- ... los sistemas eléctricos modernos y las decisiones que nos han llevado a su estado actual
- ... los retos [matemáticos] presentes en ellos



- 1 ¿Cómo se transporta la electricidad?
- 2 ¿Cómo se opera un sistema eléctrico?
- 3 ¿Cómo se genera electricidad?
  - Diseño y gestión de un parque eólico
- 4 ¿Cómo se consume electricidad?
  - Predicciones Macro
  - Predicciones Micro
  - Detección de anomalías
- 5 ¿Cómo se planifica el sistema eléctrico?
  - Modelos red de transporte
  - Modelos red de distribución
    - Crecimiento Vertical
    - Crecimiento Horizontal



- 1 ¿Cómo se transporta la electricidad?
- 2 ¿Cómo se opera un sistema eléctrico?
- 3 ¿Cómo se genera electricidad?
  - Diseño y gestión de un parque eólico
- 4 ¿Cómo se consume electricidad?
  - Predicciones Macro
  - Predicciones Micro
  - Detección de anomalías
- 5 ¿Cómo se planifica el sistema eléctrico?
  - Modelos red de transporte
  - Modelos red de distribución
    - Crecimiento Vertical
    - Crecimiento Horizontal



- 1 ¿Cómo se transporta la electricidad?
- 2 ¿Cómo se opera un sistema eléctrico?
- 3 ¿Cómo se genera electricidad?
  - Diseño y gestión de un parque eólico
- 4 ¿Cómo se consume electricidad?
  - Predicciones Macro
  - Predicciones Micro
  - Detección de anomalías
- 5 ¿Cómo se planifica el sistema eléctrico?
  - Modelos red de transporte
  - Modelos red de distribución
    - Crecimiento Vertical
    - Crecimiento Horizontal



- 1 ¿Cómo se transporta la electricidad?
- 2 ¿Cómo se opera un sistema eléctrico?
- 3 ¿Cómo se genera electricidad?
  - Diseño y gestión de un parque eólico
- 4 ¿Cómo se consume electricidad?
  - Predicciones Macro
  - Predicciones Micro
  - Detección de anomalías
- 5 ¿Cómo se planifica el sistema eléctrico?
  - Modelos red de transporte
  - Modelos red de distribución
    - Crecimiento Vertical
    - Crecimiento Horizontal



- 1 ¿Cómo se transporta la electricidad?
- 2 ¿Cómo se opera un sistema eléctrico?
- 3 ¿Cómo se genera electricidad?
  - Diseño y gestión de un parque eólico
- 4 ¿Cómo se consume electricidad?
  - Predicciones Macro
  - Predicciones Micro
  - Detección de anomalías
- 5 ¿Cómo se planifica el sistema eléctrico?
  - Modelos red de transporte
  - Modelos red de distribución
    - Crecimiento Vertical
    - Crecimiento Horizontal



- 1 ¿Cómo se transporta la electricidad?
- 2 ¿Cómo se opera un sistema eléctrico?
- 3 ¿Cómo se genera electricidad?
  - Diseño y gestión de un parque eólico
- 4 ¿Cómo se consume electricidad?
  - Predicciones Macro
  - Predicciones Micro
  - Detección de anomalías
- 5 ¿Cómo se planifica el sistema eléctrico?
  - Modelos red de transporte
  - Modelos red de distribución
    - Crecimiento Vertical
    - Crecimiento Horizontal



# ¿Cómo se transporta?

## Potencia Transportada

$$P = IV$$

## Pérdidas en Transporte

$$Q = I^2 R$$

## Conclusión

La energía que se transporta es proporcional a  $I$  y  $V$

Las pérdidas  $Q$  son de orden  $I^2$

$R$  se considera constante o a minimizar

(depende del material y sección del cable)

Para transmitir la misma energía con menos pérdidas  
hay que aumentar  $V$



# ¿Cómo se transporta?

Potencia Transportada

$$P = IV$$

Pérdidas en Transporte

$$Q = I^2 R$$

## Conclusión

La energía que se transporta es proporcional a  $I$  y  $V$

Las pérdidas  $Q$  son de orden  $I^2$

$R$  se considera constante o a minimizar

(depende del material y sección del cable)

Para transmitir la misma energía con menos pérdidas  
hay que aumentar  $V$



# ¿Cómo se transporta?

## Potencia Transportada

$$P = IV$$

## Pérdidas en Transporte

$$Q = I^2 R$$

## Conclusión

- La energía que se transporta es proporcional a  $I$  y  $V$
- Las pérdidas  $Q$  son de orden  $I^2$
- $R$  se considera constante o a minimizar  
[depende del material y sección del cable]
- Para transmitir la misma energía con menos pérdidas hay que aumentar  $V$



# ¿Cómo se transporta?

## Potencia Transportada

$$P = IV$$

## Pérdidas en Transporte

$$Q = I^2 R$$

## Conclusión

- La energía que se transporta es proporcional a  $I$  y  $V$
- Las pérdidas  $Q$  son de orden  $I^2$
- $R$  se considera constante o a minimizar  
[depende del material y sección del cable]
- Para transmitir la misma energía con menos pérdidas hay que aumentar  $V$



# ¿Cómo se transporta?

## Potencia Transportada

$$P = IV$$

## Pérdidas en Transporte

$$Q = I^2 R$$

## Conclusión

- La energía que se transporta es proporcional a  $I$  y  $V$
- Las pérdidas  $Q$  son de orden  $I^2$
- $R$  se considera constante o a minimizar

[depende del material y sección del cable]

- Para transmitir la misma energía con menos pérdidas hay que aumentar  $V$



# ¿Cómo se transporta?

## Potencia Transportada

$$P = IV$$

## Pérdidas en Transporte

$$Q = I^2 R$$

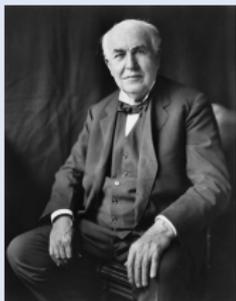
## Conclusión

- La energía que se transporta es proporcional a  $I$  y  $V$
- Las pérdidas  $Q$  son de orden  $I^2$
- $R$  se considera constante o a minimizar  
[depende del material y sección del cable]
- Para transmitir la misma energía con menos pérdidas hay que aumentar  $V$

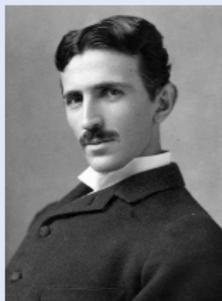


# Wars of Currents (Siglo XIX)

## Round 1



VS



Edison (DC)

Motor en DC

Circuitos redundantes

Sin red transporte

Tesla (AC)

Transformador

Transformador

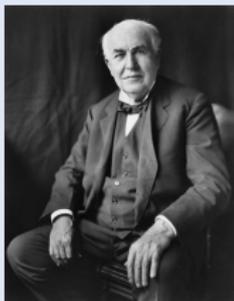
Transformador

Tesla WINS

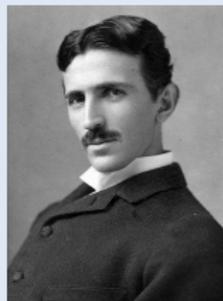


# Wars of Currents (Siglo XIX)

## Round 1



VS



### Edison (DC)

- Motor en DC
- Circuitos redundantes
- Sin red transporte

### Tesla (AC)

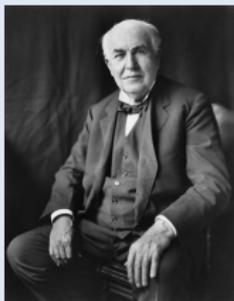
- Transformador
- Transformador
- Transformador

Tesla WINS

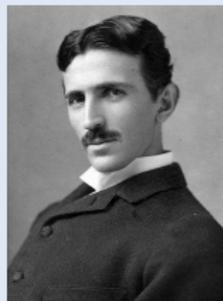


# Wars of Currents (Siglo XIX)

## Round 1



VS



### Edison (DC)

- Motor en DC
- Circuitos redundantes
- Sin red transporte

### Tesla (AC)

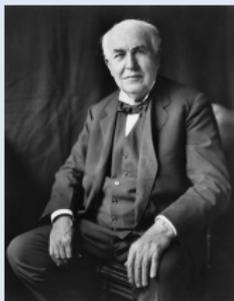
- Transformador
- Transformador
- Transformador

Tesla WINS

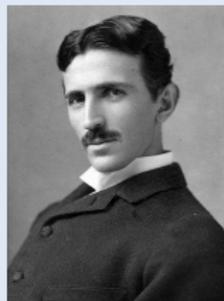


# Wars of Currents (Siglo XIX)

## Round 1



VS



### Edison (DC)

- Motor en DC
- Circuitos redundantes
- Sin red transporte

### Tesla (AC)

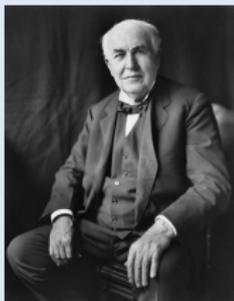
- Transformador
- Transformador
- Transformador

Tesla WINS

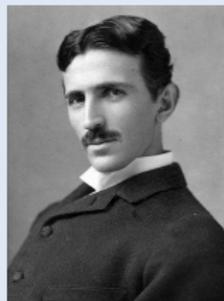


# Wars of Currents (Siglo XIX)

## Round 1



VS



### Edison (DC)

- Motor en DC
- Circuitos redundantes
- Sin red transporte

### Tesla (AC)

- Transformador
- Transformador
- Transformador

**Tesla WINS**

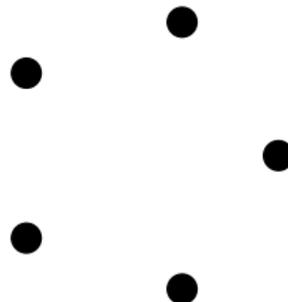


## El sistema eléctrico actual

- **Grandes centros de generación** [alejados de los consumidores]
- Redes de transporte a **alta tensión** [grafo]
- Redes de distribución a **media**
- Empresas comercializadoras de energía

## Problemas

- Oligopolio
- Debilidad
- 
- 

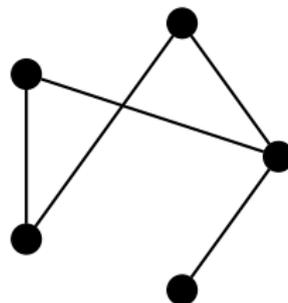


## El sistema eléctrico actual

- **Grandes centros de generación** [alejados de los consumidores]
- **Redes de transporte a alta tensión** [grafo]
- Redes de distribución a media
- Empresas comercializadoras de energía

## Problemas

- Oligopolio
- Debilidad
- 
- 

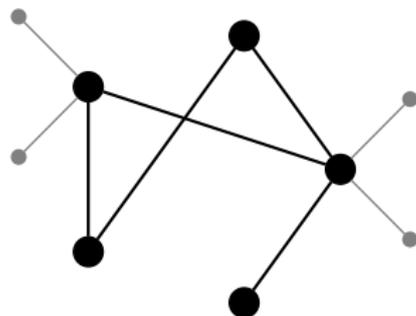


## El sistema eléctrico actual

- Grandes centros de generación [alejados de los consumidores]
- Redes de transporte a **alta tensión** [grafo]
- Redes de distribución a **media y baja tensión** [árbol]
- Empresas comercializadoras de energía

## Problemas

- Oligopolio
- Debilidad

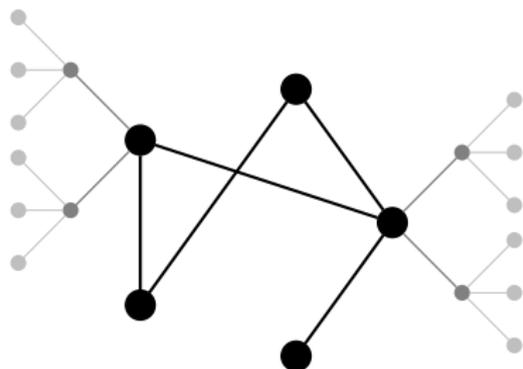


## El sistema eléctrico actual

- Grandes centros de generación [alejados de los consumidores]
- Redes de transporte a **alta tensión** [grafo]
- Redes de distribución a **media y baja tensión** [árbol]
- Empresas comercializadoras de energía

## Problemas

- Oligopolio
- Debilidad

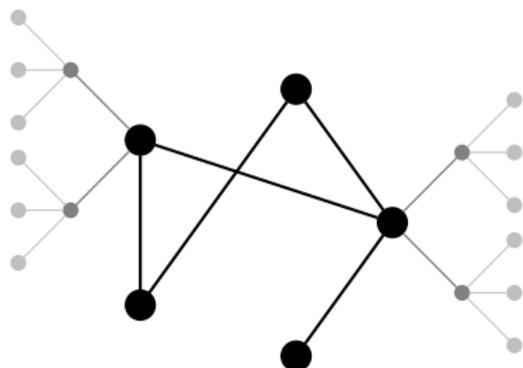


## El sistema eléctrico actual

- Grandes centros de generación [alejados de los consumidores]
- Redes de transporte a **alta** tensión [grafo]
- Redes de distribución a **media** y **baja** tensión [árbol]
- Empresas comercializadoras de energía

## Problemas

- Oligopolio
- Debilidad

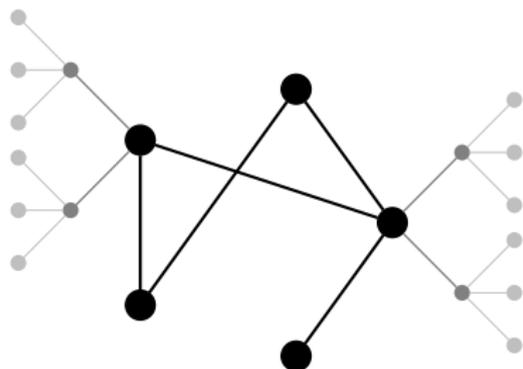


## El sistema eléctrico actual

- Grandes centros de generación [alejados de los consumidores]
- Redes de transporte a **alta** tensión [grafo]
- Redes de distribución a **media** y **baja** tensión [árbol]
- Empresas comercializadoras de energía

## Problemas

- Oligopolio
- Debilidad

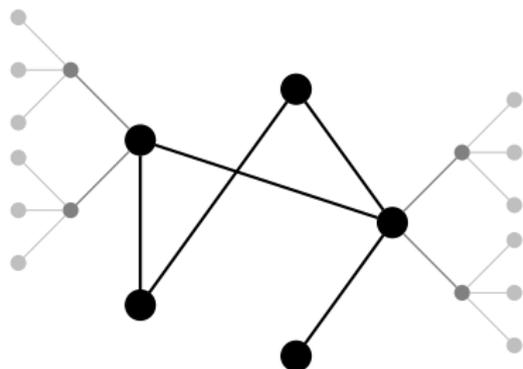


## El sistema eléctrico actual

- Grandes centros de generación [alejados de los consumidores]
- Redes de transporte a **alta** tensión [grafo]
- Redes de distribución a **media** y **baja** tensión [árbol]
- Empresas comercializadoras de energía

## Problemas

- Oligopolio
- Debilidad
  - Dependencia de combustibles no renovables
  - Existencia de puntos de ruptura

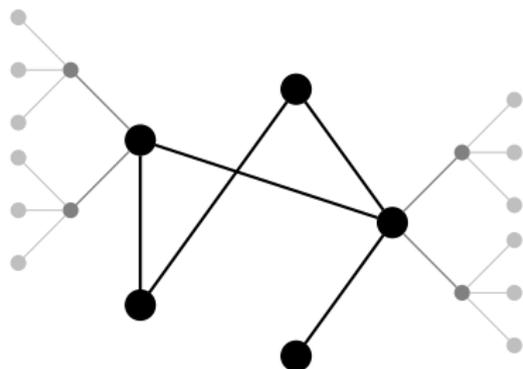


## El sistema eléctrico actual

- Grandes centros de generación [alejados de los consumidores]
- Redes de transporte a **alta** tensión [grafo]
- Redes de distribución a **media** y **baja** tensión [árbol]
- Empresas comercializadoras de energía

## Problemas

- Oligopolio
- Debilidad
  - Dependencia de combustibles no renovables
  - Existencia de puntos de ruptura

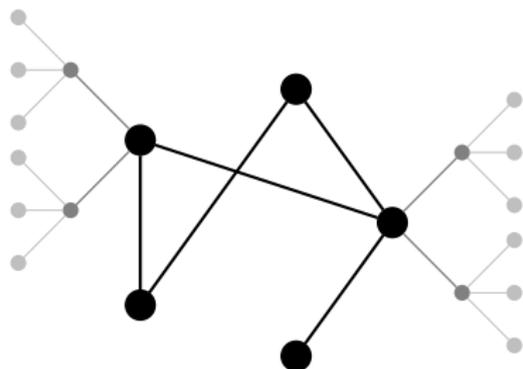


## El sistema eléctrico actual

- Grandes centros de generación [alejados de los consumidores]
- Redes de transporte a **alta** tensión [grafo]
- Redes de distribución a **media** y **baja** tensión [árbol]
- Empresas comercializadoras de energía

## Problemas

- Oligopolio
- Debilidad
  - Dependencia de combustibles no renovables
  - Existencia de puntos de ruptura



## Ahora las cosas han cambiado...

- **Electrónica de potencia** [cambios de tensión en DC]
- Fuentes renovables de energía [generan electricidad en DC]
- Electrónica de consumo [consumimos electricidad en DC]

## Microgrids [y autoconsumo]

Pequeño grupo de consumidores y generadores conectados a la red en un solo punto que pueden aislarse de ella a voluntad y seguir operando con normalidad

Generación distribuida [plantas renovables]

Operación en isla [robustez]

¿Round 2?



## Ahora las cosas han cambiado...

- **Electrónica de potencia** [cambios de tensión en DC]
- **Fuentes renovables de energía** [generan electricidad en DC]
- Electrónica de consumo [consumimos electricidad en DC]

## Microgrids [y autoconsumo]

Pequeño grupo de consumidores y generadores conectados a la red en un solo punto que pueden aislarse de ella a voluntad y seguir operando con normalidad

Generación distribuida [potencia renovable]

Operación en isla [islandos]

¿Round 2?



## Ahora las cosas han cambiado...

- Electrónica de potencia [cambios de tensión en DC]
- Fuentes renovables de energía [generan electricidad en DC]
- Electrónica de consumo [consumimos electricidad en DC]

## Microgrids [y autoconsumo]

Pequeño grupo de consumidores y generadores conectados a la red en un solo punto que pueden aislarse de ella a voluntad y seguir operando con normalidad

Generación distribuida [potencia renovable]

Operación en isla [resiliencia]

¿Round 2?



## Ahora las cosas han cambiado...

- Electrónica de potencia [cambios de tensión en DC]
- Fuentes renovables de energía [generan electricidad en DC]
- Electrónica de consumo [consumimos electricidad en DC]

## Microgrids [y autoconsumo]

Pequeño grupo de consumidores y generadores conectados a la red en un solo punto que pueden aislarse de ella a voluntad y seguir operando con normalidad

Generación distribuida (paralela, renovable)  
Operación en isla (reserva)

¿Round 2?



## Ahora las cosas han cambiado...

- Electrónica de potencia [cambios de tensión en DC]
- Fuentes renovables de energía [generan electricidad en DC]
- Electrónica de consumo [consumimos electricidad en DC]

## Microgrids [y autoconsumo]

Pequeño grupo de consumidores y generadores conectados a la red en un solo punto que pueden aislarse de ella a voluntad y seguir operando con normalidad

- Generación distribuida [masivamente renovable]
- Operación en isla [robustez]

¿Round 2?



## Ahora las cosas han cambiado...

- Electrónica de potencia [cambios de tensión en DC]
- Fuentes renovables de energía [generan electricidad en DC]
- Electrónica de consumo [consumimos electricidad en DC]

## Microgrids [y autoconsumo]

Pequeño grupo de consumidores y generadores conectados a la red en un solo punto que pueden aislarse de ella a voluntad y seguir operando con normalidad

- Generación distribuida [masivamente renovable]
- Operación en isla [robustez]

¿Round 2?



## Ahora las cosas han cambiado...

- Electrónica de potencia [cambios de tensión en DC]
- Fuentes renovables de energía [generan electricidad en DC]
- Electrónica de consumo [consumimos electricidad en DC]

## Microgrids [y autoconsumo]

Pequeño grupo de consumidores y generadores conectados a la red en un solo punto que pueden aislarse de ella a voluntad y seguir operando con normalidad

- Generación distribuida [masivamente renovable]
- Operación en isla [robustez]

¿Round 2?



## Planificación:

- ¿Cómo se diseña una microrred? [tecnologías, conexiones, etc.]
- ¿Cuándo sale rentable?

## Operación:

- ¿Cómo se controla?
- ¿Cómo se integra con las redes tradicionales?

## Tarificación:

- ¿Cómo distribuir los costes de operación?
- ¿Cómo hacer negocio?



## Planificación:

- ¿Cómo se diseña una microrred? [tecnologías, conexiones, etc.]
- ¿Cuándo sale rentable?

## Operación:

- ¿Cómo se controla?
- ¿Cómo se integra con las redes tradicionales?

## Tarificación:

- ¿Cómo distribuir los costes de operación?
- ¿Cómo hacer negocio?



## Planificación:

- ¿Cómo se diseña una microrred? [tecnologías, conexiones, etc.]
- ¿Cuándo sale rentable?

## Operación:

- ¿Cómo se controla?
- ¿Cómo se integra con las redes tradicionales?

## Tarificación:

- ¿Cómo distribuir los costes de operación?
- ¿Cómo hacer negocio?



## Planificación:

- ¿Cómo se diseña una microred? [tecnologías, conexiones, etc.]
- ¿Cuándo sale rentable?

## Operación:

- ¿Cómo se controla?
- ¿Cómo se integra con las redes tradicionales?

## Tarifificación:

- ¿Cómo distribuir los costes de operación?
- ¿Cómo hacer negocio?



## Planificación:

- ¿Cómo se diseña una micred? [tecnologías, conexiones, etc.]
- ¿Cuándo sale rentable?

## Operación:

- ¿Cómo se controla?
- ¿Cómo se integra con las redes tradicionales?

## Tarificación:

- ¿Cómo distribuir los costes de operación?
- ¿Cómo hacer negocio?



## Planificación:

- ¿Cómo se diseña una micred? [tecnologías, conexiones, etc.]
- ¿Cuándo sale rentable?

## Operación:

- ¿Cómo se controla?
- ¿Cómo se integra con las redes tradicionales?

## Tarifación:

- ¿Cómo distribuir los costes de operación?
- ¿Cómo hacer negocio?



## Planificación:

- ¿Cómo se diseña una micred? [tecnologías, conexiones, etc.]
- ¿Cuándo sale rentable?

## Operación:

- ¿Cómo se controla?
- ¿Cómo se integra con las redes tradicionales?

## Tarificación:

- ¿Cómo distribuir los costes de operación?
- ¿Cómo hacer negocio?



## Planificación:

- ¿Cómo se diseña una micred? [tecnologías, conexiones, etc.]
- ¿Cuándo sale rentable?

## Operación:

- ¿Cómo se controla?
- ¿Cómo se integra con las redes tradicionales?

## Tarificación:

- ¿Cómo distribuir los costes de operación?
- ¿Cómo hacer negocio?



## Planificación:

- ¿Cómo se diseña una micred? [tecnologías, conexiones, etc.]
- ¿Cuándo sale rentable?

## Operación:

- ¿Cómo se controla?
- ¿Cómo se integra con las redes tradicionales?

## Tarificación:

- ¿Cómo distribuir los costes de operación?
- ¿Cómo hacer negocio?



- 1 ¿Cómo se transporta la electricidad?
- 2 ¿Cómo se opera un sistema eléctrico?
- 3 ¿Cómo se genera electricidad?
  - Diseño y gestión de un parque eólico
- 4 ¿Cómo se consume electricidad?
  - Predicciones Macro
  - Predicciones Micro
  - Detección de anomalías
- 5 ¿Cómo se planifica el sistema eléctrico?
  - Modelos red de transporte
  - Modelos red de distribución
    - Crecimiento Vertical
    - Crecimiento Horizontal



## Problema

¡No sabemos como almacenar energía de forma eficaz!

La idea es bien simple:

El consumo debe ser igual a la generación en cada instante

La solución, conocer de antemano:

La localización y cantidad de energía que se va a consumir

La localización y cantidad de energía que se pueda generar

¡Hay que realizar predicciones!



# ¿Cómo se opera? I

## Problema

¡No sabemos como almacenar energía de forma eficaz!

La idea es bien simple:

El consumo debe ser igual a la generación en cada instante

La solución, conocer de antemano:

La localización y cantidad de energía que se va a consumir

La localización y cantidad de energía que se pueda generar

¡Hay que realizar predicciones!



# ¿Cómo se opera? I

## Problema

¡No sabemos como almacenar energía de forma eficaz!

La idea es bien simple:

El consumo debe ser igual a la generación en cada instante

La solución, conocer de antemano:

- La localización y cantidad de energía que se va a consumir
- La localización y cantidad de energía que se puede generar

¡Hay que realizar predicciones!



# ¿Cómo se opera? I

## Problema

¡No sabemos como almacenar energía de forma eficaz!

La idea es bien simple:

El consumo debe ser igual a la generación en cada instante

La solución, conocer de antemano:

- La localización y cantidad de energía que se va a consumir
- La localización y cantidad de energía que se puede generar

¡Hay que realizar predicciones!



# ¿Cómo se opera? I

## Problema

¡No sabemos como almacenar energía de forma eficaz!

La idea es bien simple:

El consumo debe ser igual a la generación en cada instante

La solución, conocer de antemano:

- La localización y cantidad de energía que se va a consumir
- La localización y cantidad de energía que se puede generar

¡Hay que realizar predicciones!



# ¿Cómo se opera? II

Supongamos que tenemos las predicciones

## Plan de operación de la red

- 
- 

## ¿Cómo se prepara?

- 1
- 2

En ambos casos la solución está sujeta a:

- 
- 



# ¿Cómo se opera? II

Supongamos que tenemos las predicciones

## Plan de operación de la red

- Quién genera energía y en qué cantidad
- Quién tiene que prepararse para apoyar al sistema

## ¿Cómo se prepara?

- Minimización del coste [despacho eléctrico]
- Subasta de mercado

## En ambos casos la solución está sujeta a:

- que se pueda generar esa cantidad de energía
- que la red soporte ese tráfico



# ¿Cómo se opera? II

Supongamos que tenemos las predicciones

## Plan de operación de la red

- Quién genera energía y en qué cantidad
- Quién tiene que prepararse para apoyar al sistema

## ¿Cómo se prepara?

- Minimización del coste [despacho eléctrico]
- Subasta de mercado

## En ambos casos la solución está sujeta a:

- que se pueda generar esa cantidad de energía
- que la red soporte ese tráfico



# ¿Cómo se opera? II

Supongamos que tenemos las predicciones

## Plan de operación de la red

- Quién genera energía y en qué cantidad
- Quién tiene que prepararse para apoyar al sistema

## ¿Cómo se prepara?

- 1 Minimización del coste [despacho eléctrico]
- Subasta de mercado

## En ambos casos la solución está sujeta a:

- que se pueda generar esa cantidad de energía
- que la red soporte ese tráfico



# ¿Cómo se opera? II

Supongamos que tenemos las predicciones

## Plan de operación de la red

- Quién genera energía y en qué cantidad
- Quién tiene que prepararse para apoyar al sistema

## ¿Cómo se prepara?

- 1 Minimización del coste [despacho eléctrico]
- 2 Subasta de mercado

## En ambos casos la solución está sujeta a:

- que se pueda generar esa cantidad de energía
- que la red soporte ese tráfico



# ¿Cómo se opera? II

Supongamos que tenemos las predicciones

## Plan de operación de la red

- Quién genera energía y en qué cantidad
- Quién tiene que prepararse para apoyar al sistema

## ¿Cómo se prepara?

- 1 Minimización del coste [despacho eléctrico]
- 2 Subasta de mercado

## En ambos casos la solución está sujeta a:

- que se pueda generar esa cantidad de energía
- que la red soporte ese tráfico



# ¿Cómo se opera? II

Supongamos que tenemos las predicciones

## Plan de operación de la red

- Quién genera energía y en qué cantidad
- Quién tiene que prepararse para apoyar al sistema

## ¿Cómo se prepara?

- 1 Minimización del coste [despacho eléctrico]
- 2 Subasta de mercado

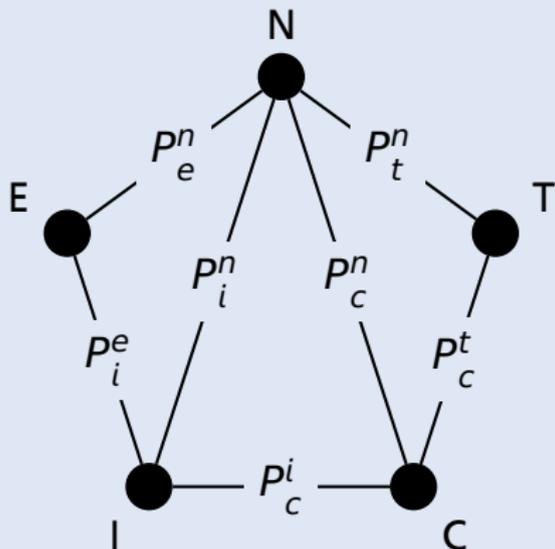
## En ambos casos la solución está sujeta a:

- que se pueda generar esa cantidad de energía
- que la red soporte ese tráfico



# Modelo lineal de la red de transporte:

## Formulación



Simplex

mín

$$\begin{aligned} &\in n(n_e + n_i + n_c + n_t) + \\ &+ \in_e(e_n + e_i) + \in_t(t_n + t_c) \end{aligned}$$

s.a.

$$\begin{aligned} N &\geq p_e^n + p_i^n + p_c^n + p_t^n \\ E &\geq p_e^n + p_i^e, \quad T \geq p_t^n + p_c^t \\ C &= p_c^t + p_c^n + p_c^i, \quad I = p_i^e + p_i^n + p_c^i \end{aligned}$$

$$p_e^n = n_e + e_n, \quad p_t^n = n_t + t_n$$

$$p_i^n = n_i + i_n, \quad p_c^n = n_c + c_n$$

$$p_i^e = e_i + i_e, \quad p_c^t = t_c + c_t$$

$$p_c^i = i_c + c_i$$

$$p_c^t \geq p_c^t, \quad p_i^e \geq p_i^e, \quad p_c^i \geq p_c^i$$

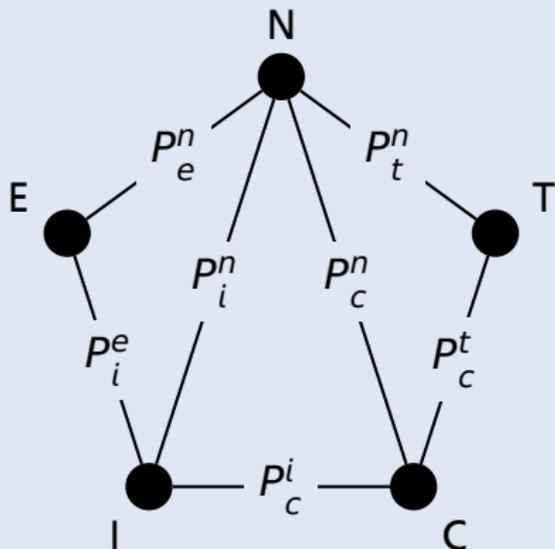
$$p_t^n \geq p_t^n, \quad p_e^n \geq p_e^n$$

$$p_c^n \geq p_c^n, \quad p_i^n \geq p_i^n$$



# Modelo lineal de la red de transporte:

## Formulación



Simplex

mín

$$\begin{aligned} &\in n(n_e + n_i + n_c + n_t) + \\ &+ \epsilon_e(e_n + e_i) + \epsilon_t(t_n + t_c) \end{aligned}$$

s.a.

$$\begin{aligned} N &\geq p_e^n + p_i^n + p_c^n + p_t^n \\ E &\geq p_e^n + p_i^e, \quad T \geq p_t^n + p_c^t \\ C &= p_c^t + p_c^n + p_c^i, \quad I = p_i^e + p_i^n + p_i^i \end{aligned}$$

$$p_e^n = n_e + e_n, \quad p_t^n = n_t + t_n$$

$$p_i^n = n_i + i_n, \quad p_c^n = n_c + c_n$$

$$p_i^e = e_i + i_e, \quad p_c^t = t_c + c_t$$

$$p_c^i = i_c + c_i$$

$$p_c^t \geq p_c^i, \quad p_i^e \geq p_i^e, \quad p_c^i \geq p_c^i$$

$$p_t^n \geq p_t^n, \quad p_e^n \geq p_e^n$$

$$p_c^n \geq p_c^n, \quad p_i^n \geq p_i^n$$



# Modelo lineal de la red de transporte:

## Pros y Contras

### Pros

- Fácil de entender y resolver

### Contras

- No tiene en cuenta las pérdidas
- Supone que se puede *enrutar* energía



# Modelo lineal de la red de transporte:

## Pros y Contras

### Pros

- Fácil de entender y resolver

### Contras

- No tiene en cuenta las pérdidas
- Supone que se puede *enrutar* energía



# Modelo lineal de la red de transporte:

## Pros y Contras

### Pros

- Fácil de entender y resolver

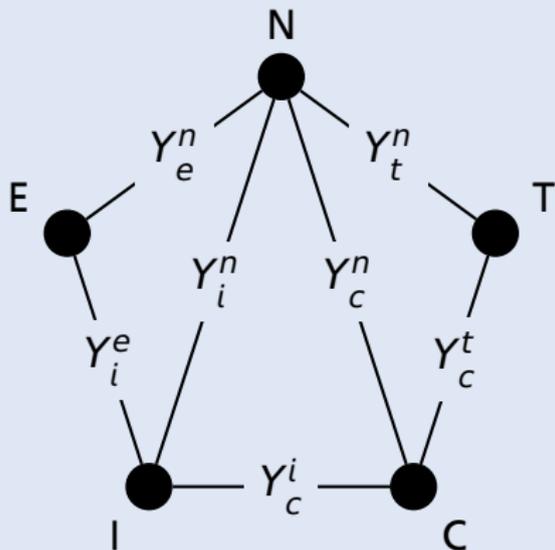
### Contras

- No tiene en cuenta las pérdidas
- Supone que se puede *enrutar* energía



# Modelo algebraico de la red de transporte

## Formulación



mín

$$\epsilon_n S_n + \epsilon_e S_e + \epsilon_t S_t$$

s.a.

$$N \geq S_n, \quad E \geq S_e, \quad T \geq S_t$$

$$I = S_i, \quad C = S_c$$

$$V_n^* (Y_e^n V_e + Y_i^n V_i + Y_c^n V_c + Y_t^n V_t + Y_n V_n) = S_n^*$$

$$V_i^* (Y_n^i V_n + Y_c^i V_c + Y_e^i V_e + Y_i V_i) = S_i^*$$

$$V_c^* (Y_n^c V_n + Y_i^c V_i + Y_t^c V_t + Y_c V_c) = S_c^*$$

$$V_e^* (Y_n^e V_n + Y_i^e V_i + Y_e V_e) = S_e^*$$

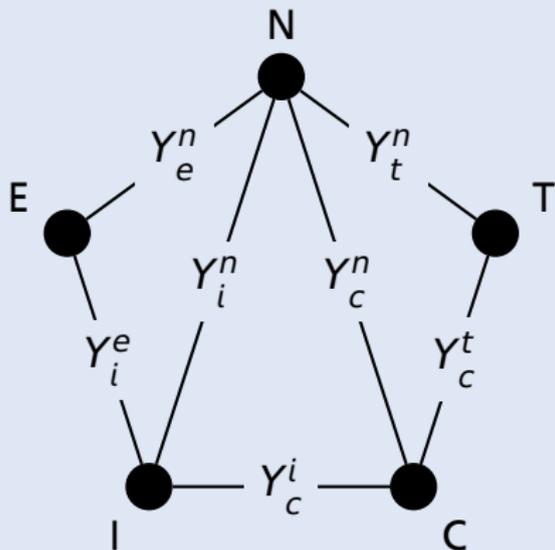
$$V_t^* (Y_n^t V_n + Y_c^t V_c + Y_t V_t) = S_t^*$$

Descenso de Gradiente



# Modelo algebraico de la red de transporte

## Formulación



mín

$$\epsilon_n S_n + \epsilon_e S_e + \epsilon_t S_t$$

s.a.

$$N \geq S_n, \quad E \geq S_e, \quad T \geq S_t$$

$$I = S_i, \quad C = S_c$$

$$V_n^* (Y_e^n V_e + Y_i^n V_i + Y_c^n V_c + Y_t^n V_t + Y_n V_n) = S_n^*$$

$$V_i^* (Y_n^i V_n + Y_c^i V_c + Y_e^i V_e + Y_i V_i) = S_i^*$$

$$V_c^* (Y_n^c V_n + Y_i^c V_i + Y_t^c V_t + Y_c V_c) = S_c^*$$

$$V_e^* (Y_n^e V_n + Y_i^e V_i + Y_e V_e) = S_e^*$$

$$V_t^* (Y_n^t V_n + Y_c^t V_c + Y_t V_t) = S_t^*$$

Descenso de Gradiente



# Modelo algebraico de la red de transporte:

## Pros y Contras

### Pros

- Tiene en cuenta las pérdidas
- Modelo sin enrutamiento de energía

### Contras

- Mucho más difícil de resolver



# Modelo algebraico de la red de transporte:

## Pros y Contras

### Pros

- Tiene en cuenta las pérdidas
- Modelo sin enrutamiento de energía

### Contras

- Mucho más difícil de resolver



# Modelo algebraico de la red de transporte:

## Pros y Contras

### Pros

- Tiene en cuenta las pérdidas
- Modelo sin enrutamiento de energía

### Contras

- Mucho más difícil de resolver



## Planificación:

- Crear modelos específicos para microgrids
- Integrar microgrids y generación distribuida
- Generar soluciones *robustas*



## Planificación:

- Crear modelos específicos para microgrids
- Integrar microgrids y generación distribuida
- Generar soluciones *robustas*



## Planificación:

- Crear modelos específicos para microgrids
- Integrar microgrids y generación distribuida
- Generar soluciones *robustas*



## Planificación:

- Crear modelos específicos para microgrids
- Integrar microgrids y generación distribuida
- Generar soluciones *robustas*



- 1 ¿Cómo se transporta la electricidad?
- 2 ¿Cómo se opera un sistema eléctrico?
- 3 **¿Cómo se genera electricidad?**
  - **Diseño y gestión de un parque eólico**
- 4 ¿Cómo se consume electricidad?
  - Predicciones Macro
  - Predicciones Micro
  - Detección de anomalías
- 5 ¿Cómo se planifica el sistema eléctrico?
  - Modelos red de transporte
  - Modelos red de distribución
    - Crecimiento Vertical
    - Crecimiento Horizontal



## Gestionabilidad:

- ¿Podemos controlar la potencia generada?
- ¿Cuál es el tiempo de arranque y de respuesta?
- ¿A qué horizonte podemos estimar con seguridad la potencia disponible?

## Sostenibilidad:

- ¿El combustible es renovable?
- ¿El combustible es barato?
- ¿El combustible es seguro?



## Gestionabilidad:

- ¿Podemos controlar la potencia generada?
- ¿Cuál es el tiempo de arranque y de respuesta?
- ¿A qué horizonte podemos estimar con seguridad la potencia disponible?

## Sostenibilidad:

- ¿Cuánto va a durar el combustible usado?  
[años para Pico de Hubbert / Fecha definitiva]
- ¿Qué impactos produce su uso?
- ¿Cuál es el coste totales de uso?  
[contando construcción, combustible, amortización, desmantelamiento, emisiones, etc. en €/MW h]



## Gestionabilidad:

- ¿Podemos controlar la potencia generada?
- ¿Cuál es el tiempo de arranque y de respuesta?
- ¿A qué horizonte podemos estimar con seguridad la potencia disponible?

## Sostenibilidad:

- ¿Cuánto va a durar el combustible usado?  
[años para Pico de Hubbert / Fecha definitiva]
- ¿Qué impactos produce su uso?
- ¿Cuál es el coste totales de uso?  
[contando construcción, combustible, amortización, desmantelamiento, emisiones, etc. en €/MW h]



## Gestionabilidad:

- ¿Podemos controlar la potencia generada?
- ¿Cuál es el tiempo de arranque y de respuesta?
- ¿A qué horizonte podemos estimar con seguridad la potencia disponible?

## Sostenibilidad:

- ¿Cuánto va a durar el combustible usado?  
[años para Pico de Hubbert / Fecha definitiva]
- ¿Qué impactos produce su uso?
- ¿Cuál es el coste totales de uso?  
[contando construcción, combustible, amortización, desmantelamiento, emisiones, etc. en €/MW h]



## Gestionabilidad:

- ¿Podemos controlar la potencia generada?
- ¿Cuál es el tiempo de arranque y de respuesta?
- ¿A qué horizonte podemos estimar con seguridad la potencia disponible?

## Sostenibilidad:

- ¿Cuánto va a durar el combustible usado?  
[años para Pico de Hubbert / Fecha definitiva]
- ¿Qué impactos produce su uso?
- ¿Cuál es el coste totales de uso?  
[contando construcción, combustible, amortización, desmantelamiento, emisiones, etc. en €/MW h]



## Gestionabilidad:

- ¿Podemos controlar la potencia generada?
- ¿Cuál es el tiempo de arranque y de respuesta?
- ¿A qué horizonte podemos estimar con seguridad la potencia disponible?

## Sostenibilidad:

- ¿Cuánto va a durar el combustible usado?

[años para Pico de Hubbert / Fecha definitiva]

- ¿Qué impactos produce su uso?
- ¿Cuál es el coste totales de uso?

[contando construcción, combustible, amortización, desmantelamiento, emisiones, etc. en €/MW h]



## Gestionabilidad:

- ¿Podemos controlar la potencia generada?
- ¿Cuál es el tiempo de arranque y de respuesta?
- ¿A qué horizonte podemos estimar con seguridad la potencia disponible?

## Sostenibilidad:

- ¿Cuánto va a durar el combustible usado?

[años para Pico de Hubbert / Fecha definitiva]

- ¿Qué impactos produce su uso?

- ¿Cuál es el coste totales de uso?

[contando construcción, combustible, amortización, desmantelamiento, emisiones, etc. en €/MW h]



## Gestionabilidad:

- ¿Podemos controlar la potencia generada?
- ¿Cuál es el tiempo de arranque y de respuesta?
- ¿A qué horizonte podemos estimar con seguridad la potencia disponible?

## Sostenibilidad:

- ¿Cuánto va a durar el combustible usado?  
[años para Pico de Hubbert / Fecha definitiva]
- ¿Qué impactos produce su uso?
- ¿Cuál es el coste totales de uso?

[contando construcción, combustible, amortización, desmantelamiento, emisiones, etc. en €/MW h]



# Tipo de centrales de generación

Tipo	Carbón	Gas	Biomasa	Nuclear	Hidráulica
<b>Controlabilidad</b>	✓	✓	✓	✗	✓
<b>Respuesta</b>	Horas	Minutos	Minutos	Días	Minutos
<b>Disponibilidad</b>	Meses	Meses	Meses	Años	Días
<b>Durabilidad</b>	30/250	10/60	∞	30/200	∞
<b>Impacto</b>	CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	∅	∅	hábitats
<b>Coste</b>	71	62	68	74	40
	Eólica	Off-Shore	Termosolar	Mareomotriz	Fotovoltaica
<b>Controlabilidad</b>					
<b>Respuesta</b>	✗	✗	✗	✗	✗
<b>Disponibilidad</b>	Días	Meses	Días	Años	Días
<b>Durabilidad</b>	∞	∞	∞	∞	∞
<b>Impacto</b>	aves	aves	terreno	hábitats	terreno
<b>Coste</b>	63	152	127	319	170



# Tipo de centrales de generación

Tipo	Carbón	Gas	Biomasa	Nuclear	Hidráulica
Controlabilidad	✓	✓	✓	✗	✓
Respuesta	Horas	Minutos	Minutos	Días	Minutos
Disponibilidad	Meses	Meses	Meses	Años	Días
Durabilidad	30/250	10/60	∞	30/200	∞
Impacto	CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	∅	∅	hábitats
Coste	71	62	68	74	40
	Eólica	Off-Shore	Termosolar	Mareomotriz	Fotovoltaica
Controlabilidad					
Respuesta	✗	✗	✗	✗	✗
Disponibilidad	Días	Meses	Días	Años	Días
Durabilidad	∞	∞	∞	∞	∞
Impacto	aves	aves	terreno	hábitats	terreno
Coste	63	152	127	319	170



# Tipo de centrales de generación

Tipo	Carbón	Gas	Biomasa	Nuclear	Hidráulica
Controlabilidad	✓	✓	✓	✗	✓
Respuesta	Horas	Minutos	Minutos	Días	Minutos
Disponibilidad	Meses	Meses	Meses	Años	Días
Durabilidad	30/250	10/60	∞	30/200	∞
Impacto	CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	∅	∅	hábitats
Coste	71	62	68	74	40
	Eólica	Off-Shore	Termosolar	Mareomotriz	Fotovoltaica
Controlabilidad					
Respuesta	✗	✗	✗	✗	✗
Disponibilidad	Días	Meses	Días	Años	Días
Durabilidad	∞	∞	∞	∞	∞
Impacto	aves	aves	terreno	hábitats	terreno
Coste	63	152	127	319	170



# Tipo de centrales de generación

Tipo	Carbón	Gas	Biomasa	Nuclear	Hidráulica
Controlabilidad	✓	✓	✓	✗	✓
Respuesta	Horas	Minutos	Minutos	Días	Minutos
Disponibilidad	Meses	Meses	Meses	Años	Días
Durabilidad	30/250	10/60	∞	30/200	∞
Impacto	CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	∅	☹	hábitats
Coste	71	62	68	74	40
	Eólica	Off-Shore	Termosolar	Mareomotriz	Fotovoltaica
Controlabilidad					
Respuesta	✗	✗	✗	✗	✗
Disponibilidad	Días	Meses	Días	Años	Días
Durabilidad	∞	∞	∞	∞	∞
Impacto	aves	aves	terreno	hábitats	terreno
Coste	63	152	127	319	170



# Tipo de centrales de generación

Tipo	Carbón	Gas	Biomasa	Nuclear	Hidráulica
Controlabilidad	✓	✓	✓	✗	✓
Respuesta	Horas	Minutos	Minutos	Días	Minutos
Disponibilidad	Meses	Meses	Meses	Años	Días
Durabilidad	30/250	10/60	$\infty$	30/200	$\infty$
Impacto	CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	∅	☢	hábitats
Coste	71	62	68	74	40
	Eólica	Off-Shore	Termosolar	Mareomotriz	Fotovoltaica
Controlabilidad					
Respuesta	✗	✗	✗	✗	✗
Disponibilidad	Días	Meses	Días	Años	Días
Durabilidad	$\infty$	$\infty$	$\infty$	$\infty$	$\infty$
Impacto	aves	aves	terreno	hábitats	terreno
Coste	63	152	127	319	170



# Tipo de centrales de generación

Tipo	Carbón	Gas	Biomasa	Nuclear	Hidráulica
Controlabilidad	✓	✓	✓	✗	✓
Respuesta	Horas	Minutos	Minutos	Días	Minutos
Disponibilidad	Meses	Meses	Meses	Años	Días
Durabilidad	30/250	10/60	$\infty$	30/200	$\infty$
Impacto	CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	∅	☢	hábitats
Coste	71	62	68	74	40
	Eólica	Off-Shore	Termosolar	Mareomotriz	Fotovoltaica
Controlabilidad					
Respuesta	✗	✗	✗	✗	✗
Disponibilidad	Días	Meses	Días	Años	Días
Durabilidad	$\infty$	$\infty$	$\infty$	$\infty$	$\infty$
Impacto	aves	aves	terreno	hábitats	terreno
Coste	63	152	127	319	170



# Tipo de centrales de generación

Tipo	Carbón	Gas	Biomasa	Nuclear	Hidráulica
Controlabilidad	✓	✓	✓	✗	✓
Respuesta	Horas	Minutos	Minutos	Días	Minutos
Disponibilidad	Meses	Meses	Meses	Años	Días
Durabilidad	30/250	10/60	∞	30/200	∞
Impacto	CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	∅	☢	hábitats
Coste	71	62	68	74	40
	<b>Eólica</b>	Off-Shore	Termosolar	Mareomotriz	Fotovoltaica
Controlabilidad	-				
Respuesta	✗	✗	✗	✗	✗
Disponibilidad	Días	Meses	Días	Años	Días
Durabilidad	∞	∞	∞	∞	∞
Impacto	aves	aves	terreno	hábitats	terreno
Coste	63	152	127	319	170



# Tipo de centrales de generación

Tipo	Carbón	Gas	Biomasa	Nuclear	Hidráulica
Controlabilidad	✓	✓	✓	✗	✓
Respuesta	Horas	Minutos	Minutos	Días	Minutos
Disponibilidad	Meses	Meses	Meses	Años	Días
Durabilidad	30/250	10/60	∞	30/200	∞
Impacto	CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	∅	☢	hábitats
Coste	71	62	68	74	40
	<b>Eólica</b>	<b>Off-Shore</b>	<i>Termosolar</i>	<i>Mareomotriz</i>	<i>Fotovoltaica</i>
Controlabilidad	-	-			
Respuesta	✗	✗	✗	✗	✗
Disponibilidad	Días	Meses	Días	Años	Días
Durabilidad	∞	∞	∞	∞	∞
Impacto	aves	aves	terreno	hábitats	terreno
Coste	63	152	127	319	170



# Tipo de centrales de generación

Tipo	Carbón	Gas	Biomasa	Nuclear	Hidráulica
Controlabilidad	✓	✓	✓	✗	✓
Respuesta	Horas	Minutos	Minutos	Días	Minutos
Disponibilidad	Meses	Meses	Meses	Años	Días
Durabilidad	30/250	10/60	∞	30/200	∞
Impacto	CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	∅	☢	hábitats
Coste	71	62	68	74	40
	Eólica	Off-Shore	Termosolar	Mareomotriz	Fotovoltaica
Controlabilidad	-	-	-	-	-
Respuesta	✗	✗	✗	✗	✗
Disponibilidad	Días	Meses	Días	Años	Días
Durabilidad	∞	∞	∞	∞	∞
Impacto	aves	aves	terreno	hábitats	terreno
Coste	63	152	127	319	170



# Tipo de centrales de generación

Tipo	Carbón	Gas	Biomasa	Nuclear	Hidráulica
Controlabilidad	✓	✓	✓	✗	✓
Respuesta	Horas	Minutos	Minutos	Días	Minutos
Disponibilidad	Meses	Meses	Meses	Años	Días
Durabilidad	30/250	10/60	∞	30/200	∞
Impacto	CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	∅	☢	hábitats
Coste	71	62	68	74	40
	Eólica	Off-Shore	Termosolar	Mareomotriz	Fotovoltaica
Controlabilidad	-	-	-	-	-
Respuesta	✗	✗	✗	✗	✗
Disponibilidad	Días	Meses	Días	Años	Días
Durabilidad	∞	∞	∞	∞	∞
Impacto	aves	aves	terreno	hábitats	terreno
Coste	63	152	127	319	170



# Tipo de centrales de generación

Tipo	Carbón	Gas	Biomasa	Nuclear	Hidráulica
Controlabilidad	✓	✓	✓	✗	✓
Respuesta	Horas	Minutos	Minutos	Días	Minutos
Disponibilidad	Meses	Meses	Meses	Años	Días
Durabilidad	30/250	10/60	∞	30/200	∞
Impacto	CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	∅	☢	hábitats
Coste	71	62	68	74	40
	Eólica	Off-Shore	Termosolar	Mareomotriz	Fotovoltaica
Controlabilidad	-	-	-	-	-
Respuesta	✗	✗	✗	✗	✗
Disponibilidad	Días	Meses	Días	Años	Días
Durabilidad	∞	∞	∞	∞	∞
Impacto	aves	aves	terreno	hábitats	terreno
Coste	63	152	127	319	170

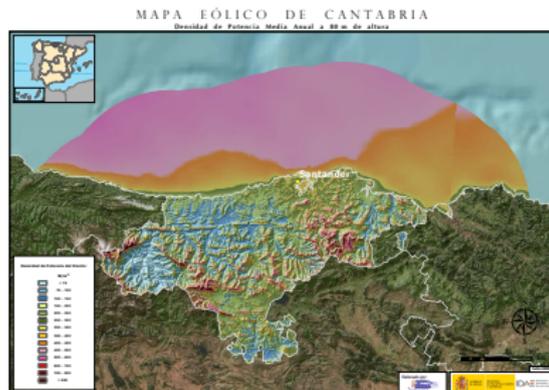


- 1 ¿Cómo se transporta la electricidad?
- 2 ¿Cómo se opera un sistema eléctrico?
- 3 ¿Cómo se genera electricidad?
  - Diseño y gestión de un parque eólico
- 4 ¿Cómo se consume electricidad?
  - Predicciones Macro
  - Predicciones Micro
  - Detección de anomalías
- 5 ¿Cómo se planifica el sistema eléctrico?
  - Modelos red de transporte
  - Modelos red de distribución
    - Crecimiento Vertical
    - Crecimiento Horizontal



# Diseño de un parque eólico *on-shore*

- 1 Busca un lugar con viento
- 2 Toma medidas para generar...
- 3
- 4 Optimiza la posición de los aerogeneradores
- 5 Ve a pedir dinero al banco



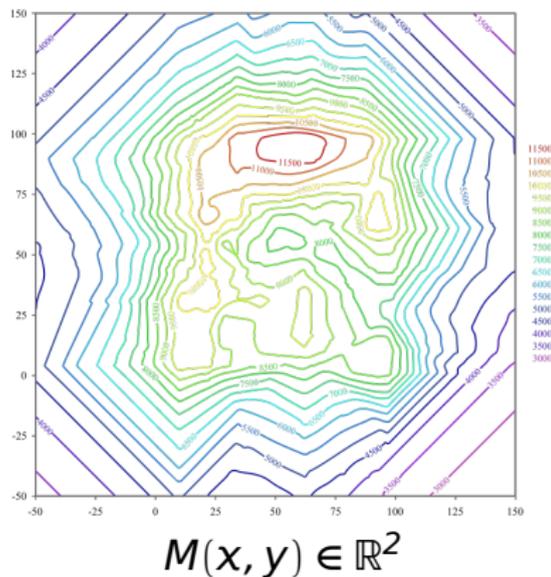
# Diseño de un parque eólico *on-shore*

- 1 Busca un lugar con viento
- 2 Toma medidas para generar...
  - 3 Modelo del terreno  
[mapa de costas]
  - 4 Modelo de viento  
[campo de vectores estocástico]
  - 5 Modelo de *estelas* de los aerogeneradores
  - 6 Optimiza la posición de los aerogeneradores
  - 7 Ve a pedir dinero al banco



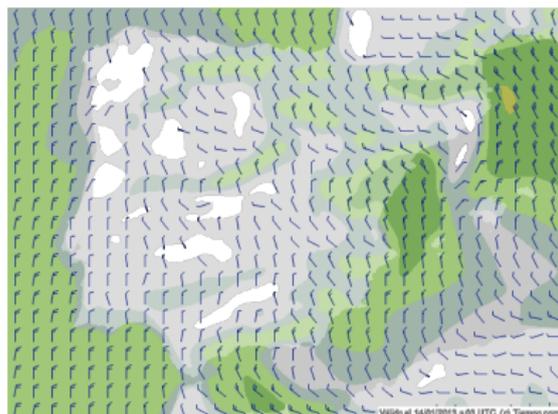
# Diseño de un parque eólico *on-shore*

- 1 Busca un lugar con viento
- 2 Toma medidas para generar...
  - 1 Modelo del terreno [mapa de costes]
  - 2 Modelo de viento [campo de vectores estocástico]
  - 3 Modelo de *estelas* de los aerogeneradores
- 3 Optimiza la posición de los aerogeneradores
- 4 Ve a pedir dinero al banco



# Diseño de un parque eólico *on-shore*

- 1 Busca un lugar con viento
- 2 Toma medidas para generar...
  - 1 Modelo del terreno  
[mapa de costes]
  - 2 Modelo de viento  
[campo de vectores estocástico]
  - 3 Modelo de *estelas* de los aerogeneradores
  - 4 Optimiza la posición de los aerogeneradores
  - 5 Ve a pedir dinero al banco



$$V(t, x, y, z) : \mathbb{R}^4 \mapsto \mathbb{R}^2$$



# Diseño de un parque eólico *on-shore*

- 1 Busca un lugar con viento
- 2 Toma medidas para generar...
  - 1 Modelo del terreno  
[mapa de costes]
  - 2 Modelo de viento  
[campo de vectores estocástico]
  - 3 Modelo de *estelas* de los aerogeneradores
- 3 Optimiza la posición de los aerogeneradores
- 4 Ve a pedir dinero al banco



$$V_i(t, x, y, z) : \mathbb{R}^4 \mapsto \mathbb{R}^2$$



# Diseño de un parque eólico *on-shore*

- 1 Busca un lugar con viento
- 2 Toma medidas para generar...
  - 1 Modelo del terreno  
[mapa de costes]
  - 2 Modelo de viento  
[campo de vectores estocástico]
  - 3 Modelo de *estelas* de los aerogeneradores
- 3 Optimiza la posición de los aerogeneradores
- 4 Ve a pedir dinero al banco

$$\text{máx} \quad \sum_{i=1}^n \int_{t \in T} E_i(t)$$

s. a.

$$M \geq \sum_{i=1}^n M(x_i, y_i)$$

$$\forall i, j \in \{1, \dots, n\}, i \neq j$$

$$x_i \notin x_j \pm \varepsilon,$$

$$y_i \notin y_j \pm \varepsilon,$$

$$z_i \notin z_j \pm \varepsilon.$$

donde:



# Diseño de un parque eólico *on-shore*

- 1 Busca un lugar con viento
- 2 Toma medidas para generar...
  - 1 Modelo del terreno  
[mapa de costes]
  - 2 Modelo de viento  
[campo de vectores estocástico]
  - 3 Modelo de *estelas* de los aerogeneradores
- 3 Optimiza la posición de los aerogeneradores
- 4 Ve a pedir dinero al banco

$$\text{máx} \quad \sum_{i=1}^n \int_{t \in T} E_i(t)$$

s. a.

$$M \geq \sum_{i=1}^n M(x_i, y_i)$$

$$\forall i, j \in \{1, \dots, n\}, i \neq j$$

$$x_i \notin x_j \pm \varepsilon,$$

$$y_i \notin y_j \pm \varepsilon,$$

$$z_i \notin z_j \pm \varepsilon.$$

donde:

$n$  es el número de aerogeneradores



# Diseño de un parque eólico *on-shore*

- 1 Busca un lugar con viento
- 2 Toma medidas para generar...
  - 1 Modelo del terreno  
[mapa de costes]
  - 2 Modelo de viento  
[campo de vectores estocástico]
  - 3 Modelo de *estelas* de los aerogeneradores
- 3 Optimiza la posición de los aerogeneradores
- 4 Ve a pedir dinero al banco

$$\text{máx} \quad \sum_{i=1}^n \int_{t \in T} E_i(t)$$

s. a.

$$M \geq \sum_{i=1}^n M(x_i, y_i)$$

$$\forall i, j \in \{1, \dots, n\}, i \neq j$$

$$x_i \notin x_j \pm \varepsilon,$$

$$y_i \notin y_j \pm \varepsilon,$$

$$z_i \notin z_j \pm \varepsilon.$$

donde:

$(x_i, y_i, z_i)$  es la coordenada del centro de aspas de cada aerogenerador y  $P_i$  la superficie de las aspas



# Diseño de un parque eólico *on-shore*

- 1 Busca un lugar con viento
- 2 Toma medidas para generar...
  - 1 Modelo del terreno  
[mapa de costes]
  - 2 Modelo de viento  
[campo de vectores estocástico]
  - 3 Modelo de *estelas* de los aerogeneradores
- 3 Optimiza la posición de los aerogeneradores
- 4 Ve a pedir dinero al banco

$$\text{máx} \quad \sum_{i=1}^n \int_{t \in T} E_i(t)$$

s. a.

$$M \geq \sum_{i=1}^n M(x_i, y_i)$$

$$\forall i, j \in \{1, \dots, n\}, i \neq j$$

$$x_i \notin x_j \pm \varepsilon,$$

$$y_i \notin y_j \pm \varepsilon,$$

$$z_i \notin z_j \pm \varepsilon.$$

donde:

$$W(t, x, y, z) := \sum_{i=1}^n V_i(t, x, y, z)$$

es el campo de vectores resultante de tener en cuenta las estelas de todos los aerogeneradores



# Diseño de un parque eólico *on-shore*

- 1 Busca un lugar con viento
- 2 Toma medidas para generar...
  - 1 Modelo del terreno  
[mapa de costes]
  - 2 Modelo de viento  
[campo de vectores estocástico]
  - 3 Modelo de *estelas* de los aerogeneradores
- 3 Optimiza la posición de los aerogeneradores
- 4 Ve a pedir dinero al banco

$$\text{máx} \quad \sum_{i=1}^n \int_{t \in T} E_i(t)$$

s. a.

$$M \geq \sum_{i=1}^n M(x_i, y_i)$$

$$\forall i, j \in \{1, \dots, n\}, i \neq j$$

$$x_i \notin x_j \pm \varepsilon,$$

$$y_i \notin y_j \pm \varepsilon,$$

$$z_i \notin z_j \pm \varepsilon.$$

donde:

$$E_i(t) := \int_{\vec{x} \in P_i} f_i(W(t; \vec{x})^\perp \vec{x}) dP_i$$

es la energía que puede extraer el aerogenerador  $i$  en función de la velocidad y dirección del viento



- 1 Busca un lugar con viento
- 2 Toma medidas para generar...
  - 1 Modelo del terreno  
[mapa de costes]
  - 2 Modelo de viento  
[campo de vectores estocástico]
  - 3 Modelo de *estelas* de los aerogeneradores
- 3 Optimiza la posición de los aerogeneradores
- 4 Ve a pedir dinero al banco



## ¿En qué consiste?

Predecir la cantidad de energía que puede generar el parque:

## ¿Para qué?

- Para controlar el parque
- Para gestionar la venta en el mercado energético
- Para planificar las labores de mantenimiento
- Para garantizar la rentabilidad y planificar futuras inversiones



## ¿En qué consiste?

Predecir la cantidad de energía que puede generar el parque:

## ¿Para qué?

- Para controlar el parque
- Para gestionar la venta en el mercado energético
- Para planificar las labores de mantenimiento
- Para garantizar la rentabilidad y planificar futuras inversiones



## ¿En qué consiste?

Predecir la cantidad de energía que puede generar el parque:

## ¿Para qué?

**A muy corto plazo:** Para controlar el parque

A corto plazo: Para gestionar la venta en el mercado energético

A medio plazo: Para planificar las labores de mantenimiento

A largo plazo: Para garantizar la rentabilidad y planificar futuras inversiones



## ¿En qué consiste?

Predecir la cantidad de energía que puede generar el parque:

## ¿Para qué?

**A muy corto plazo:** Para controlar el parque

**A corto plazo:** Para gestionar la venta en el mercado energético

A medio plazo: Para planificar las labores de mantenimiento

A largo plazo: Para garantizar la rentabilidad y planificar futuras inversiones



## ¿En qué consiste?

Predecir la cantidad de energía que puede generar el parque:

## ¿Para qué?

**A muy corto plazo:** Para controlar el parque

**A corto plazo:** Para gestionar la venta en el mercado energético

**A medio plazo:** Para planificar las labores de mantenimiento

**A largo plazo:** Para garantizar la rentabilidad y planificar futuras inversiones



## ¿En qué consiste?

Predecir la cantidad de energía que puede generar el parque:

## ¿Para qué?

**A muy corto plazo:** Para controlar el parque

**A corto plazo:** Para gestionar la venta en el mercado energético

**A medio plazo:** Para planificar las labores de mantenimiento

**A largo plazo:** Para garantizar la rentabilidad y planificar futuras inversiones



# Gestión de un parque eólico *on-shore* II

Predicción a corto y medio plazo

Si el parque es *viejo*...

- 1
- 2
- 3
- 4

Si el parque es *nuevo*...

- 1 NO hay medidas históricas...
- 2 Hay que usar el modelo de viento...
- 3 Se realiza una predicción meteorológica...
- 4 Se traslada hasta el parque...
- 5 Crear las condiciones de contorno



# Gestión de un parque eólico *on-shore* II

Predicción a corto y medio plazo

## Si el parque es *viejo*...

- 1 Hay medidas históricas...
- 2 Se pueden hacer modelos estadísticos...
- 3 O de inteligencia artificial...
- 4 O incluso combinaciones de todos ellos

## Si el parque es *nuevo*...

- 1 NO hay medidas históricas...
- 2 Hay que usar el modelo de viento...
- 3 Se realiza una predicción meteorológica...
- 4 Se traslada hasta el parque...
- 5 Crear las condiciones de contorno



# Gestión de un parque eólico *on-shore* II

Predicción a corto y medio plazo

## Si el parque es *viejo*...

- 1 Hay medidas históricas...
- 2 Se pueden hacer modelos estadísticos...
- 3 O de inteligencia artificial...
- 4 O incluso combinaciones de todos ellos

## Si el parque es *nuevo*...

- 1 NO hay medidas históricas...
- 2 Hay que usar el modelo de viento...
- 3 Se realiza una predicción meteorológica...
- 4 Se traslada hasta el parque...
- 5 Crear las condiciones de contorno



# Gestión de un parque eólico *on-shore* II

Predicción a corto y medio plazo

## Si el parque es *viejo*...

- 1 Hay medidas históricas...
- 2 Se pueden hacer modelos estadísticos...
- 3 O de inteligencia artificial...
- 4 O incluso combinaciones de todos ellos

## Si el parque es *nuevo*...

- 1 NO hay medidas históricas...
- 2 Hay que usar el modelo de viento...
- 3 Se realiza una predicción meteorológica...
- 4 Se traslada hasta el parque...
- 5 Crear las condiciones de contorno



# Gestión de un parque eólico *on-shore* II

Predicción a corto y medio plazo

## Si el parque es *viejo*...

- 1 Hay medidas históricas...
- 2 Se pueden hacer modelos estadísticos...
- 3 O de inteligencia artificial...
- 4 O incluso combinaciones de todos ellos

## Si el parque es *nuevo*...

- 1 NO hay medidas históricas...
- 2 Hay que usar el modelo de viento...
- 3 Se realiza una predicción meteorológica...
- 4 Se traslada hasta el parque...
- 5 Crear las condiciones de contorno



# Gestión de un parque eólico *on-shore* II

Predicción a corto y medio plazo

## Si el parque es *viejo*...

- 1 Hay medidas históricas...
- 2 Se pueden hacer modelos estadísticos...
- 3 O de inteligencia artificial...
- 4 O incluso combinaciones de todos ellos

## Si el parque es *nuevo*...

1 NO

2

3

4

5



# Gestión de un parque eólico *on-shore* II

Predicción a corto y medio plazo

## Si el parque es *viejo*...

- 1 Hay medidas históricas...
- 2 Se pueden hacer modelos estadísticos...
- 3 O de inteligencia artificial...
- 4 O incluso combinaciones de todos ellos

## Si el parque es *nuevo*...

- 1 **NO** hay medidas históricas...
- 2 Hay que usar el modelo de viento...
- 3 Se realiza una predicción meteorológica...
- 4 Se traslada hasta el parque...
- 5 Crear las condiciones de contorno



# Gestión de un parque eólico *on-shore* II

Predicción a corto y medio plazo

## Si el parque es *viejo*...

- 1 Hay medidas históricas...
- 2 Se pueden hacer modelos estadísticos...
- 3 O de inteligencia artificial...
- 4 O incluso combinaciones de todos ellos

## Si el parque es *nuevo*...

- 1 **NO** hay medidas históricas...
- 2 Hay que usar el modelo de viento...
- 3 Se realiza una predicción meteorológica...
- 4 Se traslada hasta el parque...
- 5 Crear las condiciones de contorno



# Gestión de un parque eólico *on-shore* II

Predicción a corto y medio plazo

## Si el parque es *viejo*...

- 1 Hay medidas históricas...
- 2 Se pueden hacer modelos estadísticos...
- 3 O de inteligencia artificial...
- 4 O incluso combinaciones de todos ellos

## Si el parque es *nuevo*...

- 1 **NO** hay medidas históricas...
- 2 Hay que usar el modelo de viento...
- 3 Se realiza una predicción meteorológica...
- 4 Se traslada hasta el parque...
- 5 Crear las condiciones de contorno



# Gestión de un parque eólico *on-shore* II

Predicción a corto y medio plazo

## Si el parque es *viejo*...

- 1 Hay medidas históricas...
- 2 Se pueden hacer modelos estadísticos...
- 3 O de inteligencia artificial...
- 4 O incluso combinaciones de todos ellos

## Si el parque es *nuevo*...

- 1 **NO** hay medidas históricas...
- 2 Hay que usar el modelo de viento...
- 3 Se realiza una predicción meteorológica...
- 4 Se traslada hasta el parque...
- 5 Crear las condiciones de contorno



# Gestión de un parque eólico *on-shore* II

Predicción a corto y medio plazo

## Si el parque es *viejo*...

- 1 Hay medidas históricas...
- 2 Se pueden hacer modelos estadísticos...
- 3 O de inteligencia artificial...
- 4 O incluso combinaciones de todos ellos

## Si el parque es *nuevo*...

- 1 **NO** hay medidas históricas...
- 2 Hay que usar el modelo de viento...
- 3 Se realiza una predicción meteorológica...
- 4 Se traslada hasta el parque...
- 5 Crear las condiciones de contorno



## Optimización:

- Optimizar los emplazamientos de los generadores eólicos

## Predicción:

- Resolver las ecuaciones de Navier-Stokes
- Mejorar los modelos meteorológico



## Optimización:

- Optimizar los emplazamientos de los generadores eólicos

## Predicción:

- Resolver las ecuaciones de Navier-Stokes
- Mejorar los modelos meteorológico



## Optimización:

- Optimizar los emplazamientos de los generadores eólicos

## Predicción:

- Resolver las ecuaciones de Navier-Stokes
- Mejorar los modelos meteorológico



## Optimización:

- Optimizar los emplazamientos de los generadores eólicos

## Predicción:

- Resolver las ecuaciones de Navier-Stokes
- Mejorar los modelos meteorológico



## Optimización:

- Optimizar los emplazamientos de los generadores eólicos

## Predicción:

- Resolver las ecuaciones de Navier-Stokes
- Mejorar los modelos meteorológico



- 1 ¿Cómo se transporta la electricidad?
- 2 ¿Cómo se opera un sistema eléctrico?
- 3 ¿Cómo se genera electricidad?
  - Diseño y gestión de un parque eólico
- 4 ¿Cómo se consume electricidad?
  - Predicciones Macro
  - Predicciones Micro
  - Detección de anomalías
- 5 ¿Cómo se planifica el sistema eléctrico?
  - Modelos red de transporte
  - Modelos red de distribución
    - Crecimiento Vertical
    - Crecimiento Horizontal



## Grandes Regiones

- Operador red de transporte
- Teorema del Límite Central (CLT)
- Principales factores:
  - 
  - 
  - Macro
  -

## Pequeñas Regiones

- Unidad técnica
- No aplica [tanto] el CLT
- Principales factores:
  - 
  - 
  - Micro
  -



## Grandes Regiones

- Operador red de transporte
- Teorema del Límite Central (CLT)
- Principales factores:
  - 
  - 
  - Macro
  -

## Edificios

- Unidad técnica
- No aplica [tanto] el CLT
- Principales factores:
  - 
  - 
  - Micro
  -



## Grandes Regiones

- Operador red de transporte
- Teorema del Límite Central (CLT)
- Principales factores:
  - 
  - 
  - Macro
  -

## Edificios

- Unidad técnica
- No aplica [tanto] el CLT
- Principales factores:
  - 
  - 
  - Micro
  -



## Grandes Regiones

- Operador red de transporte
- Teorema del Límite Central (CLT)
- Principales factores:
  - 
  - 
  - Macro
  -

## Edificios

- Unidad técnica
- No aplica [tanto] el CLT
- Principales factores:
  - 
  - 
  - Micro
  -



## Grandes Regiones

- Operador red de transporte
- Teorema del Límite Central (CLT)
- Principales factores:
  - 
  - 
  - Macro
  -

## Edificios

- Unidad técnica
- No aplica [tanto] el CLT
- Principales factores:
  - 
  - 
  - Micro
  -



## Grandes Regiones

- Operador red de transporte
- Teorema del Límite Central (CLT)
- Principales factores:
  - 
  - 
  - Macro
  -

## Edificios

- Unidad técnica
- No aplica [tanto] el CLT
- Principales factores:
  - 
  - 
  - Micro
  -



## Grandes Regiones

- Operador red de transporte
- Teorema del Límite Central (CLT)
- Principales factores:
  - Laboralidad
  - Temperatura
  - **Macro**economía
  - Pero no el precio [hasta ahora]

## Edificios

- Unidad técnica
- No aplica [tanto] el CLT
- Principales factores:
  - Laboralidad [tipos de día]
  - Temperatura [algunos casos]
  - **Micro**economía
  - Pero no el precio [hasta ahora]



## Grandes Regiones

- Operador red de transporte
- Teorema del Límite Central (CLT)
- Principales factores:
  - Laboralidad
  - Temperatura
  - **Macro**economía
  - Pero no el precio [hasta ahora]

## Edificios

- Unidad técnica
- No aplica [tanto] el CLT
- Principales factores:
  - Laboralidad [tipos de día]
  - Temperatura [algunos casos]
  - **Micro**economía
  - Pero no el precio [hasta ahora]



## Grandes Regiones

- Operador red de transporte
- Teorema del Límite Central (CLT)
- Principales factores:
  - Laboralidad
  - Temperatura
  - **Macro**economía
  - Pero no el precio [hasta ahora]

## Edificios

- Unidad técnica
- No aplica [tanto] el CLT
- Principales factores:
  - Laboralidad [tipos de día]
  - Temperatura [algunos casos]
  - **Micro**economía
  - Pero no el precio [hasta ahora]



## Grandes Regiones

- Operador red de transporte
- Teorema del Límite Central (CLT)
- Principales factores:
  - Laboralidad
  - Temperatura
  - **Macroeconomía**
  - Pero no el precio [hasta ahora]

## Edificios

- Unidad técnica
- No aplica [tanto] el CLT
- Principales factores:
  - Laboralidad [tipos de día]
  - Temperatura [algunos casos]
  - **Microeconomía**
  - Pero no el precio [hasta ahora]



## Grandes Regiones

- Operador red de transporte
- Teorema del Límite Central (CLT)
- Principales factores:
  - Laboralidad
  - Temperatura
  - **Macro**economía
  - Pero no el precio [hasta ahora]

## Edificios

- Unidad técnica
- No aplica [tanto] el CLT
- Principales factores:
  - Laboralidad [tipos de día]
  - Temperatura [algunos casos]
  - **Micro**economía
  - Pero no el precio [hasta ahora]



## Grandes Regiones

- Operador red de transporte
- Teorema del Límite Central (CLT)
- Principales factores:
  - Laboralidad
  - Temperatura
  - **Macroeconomía**
  - Pero no el precio [hasta ahora]

## Edificios

- Unidad técnica
- No aplica [tanto] el CLT
- Principales factores:
  - **Laboralidad** [tipos de día]
  - Temperatura [algunos casos]
  - **Microeconomía**
  - Pero no el precio [hasta ahora]



## Grandes Regiones

- Operador red de transporte
- Teorema del Límite Central (CLT)
- Principales factores:
  - Laboralidad
  - Temperatura
  - **Macro**economía
  - Pero no el precio [hasta ahora]

## Edificios

- Unidad técnica
- No aplica [tanto] el CLT
- Principales factores:
  - Laboralidad [tipos de día]
  - Temperatura [algunos casos]
  - **Micro**economía
  - Pero no el precio [hasta ahora]



## Grandes Regiones

- Operador red de transporte
- Teorema del Límite Central (CLT)
- Principales factores:
  - Laboralidad
  - Temperatura
  - **Macro**economía
  - Pero no el precio [hasta ahora]

## Edificios

- Unidad técnica
- No aplica [tanto] el CLT
- Principales factores:
  - Laboralidad [tipos de día]
  - Temperatura [algunos casos]
  - **Micro**economía
  - Pero no el precio [hasta ahora]



## Grandes Regiones

- Operador red de transporte
- Teorema del Límite Central (CLT)
- Principales factores:
  - Laboralidad
  - Temperatura
  - **Macro**economía
  - Pero no el precio [hasta ahora]

## Edificios

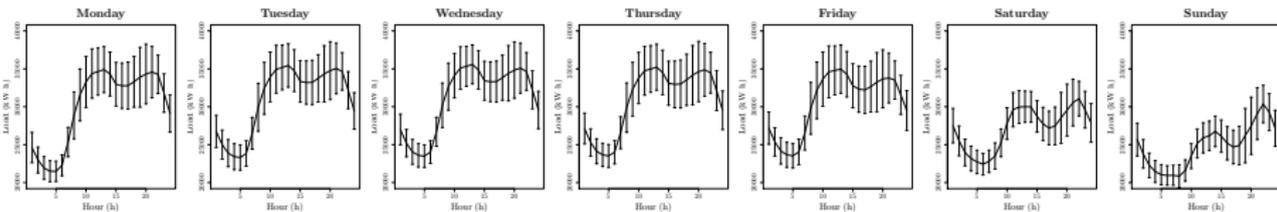
- Unidad técnica
- No aplica [tanto] el CLT
- Principales factores:
  - Laboralidad [tipos de día]
  - Temperatura [algunos casos]
  - **Micro**economía
  - Pero no el precio [hasta ahora]



- 1 ¿Cómo se transporta la electricidad?
- 2 ¿Cómo se opera un sistema eléctrico?
- 3 ¿Cómo se genera electricidad?
  - Diseño y gestión de un parque eólico
- 4 ¿Cómo se consume electricidad?
  - **Predicciones Macro**
  - Predicciones Micro
  - Detección de anomalías
- 5 ¿Cómo se planifica el sistema eléctrico?
  - Modelos red de transporte
  - Modelos red de distribución
    - Crecimiento Vertical
    - Crecimiento Horizontal



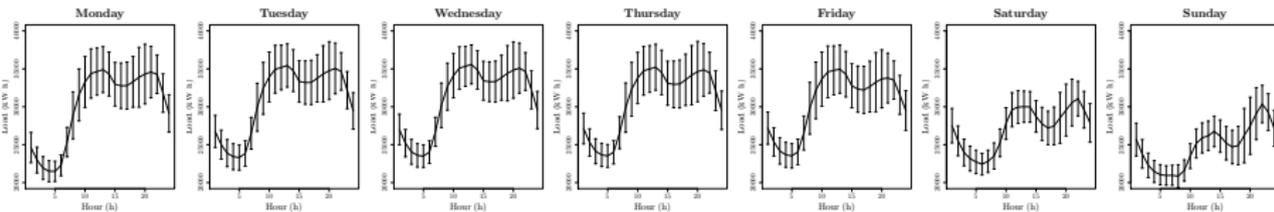
# Predicción de Red Eléctrica Española I



## Características

Patrón prácticamente constante  
Homocedasticidad

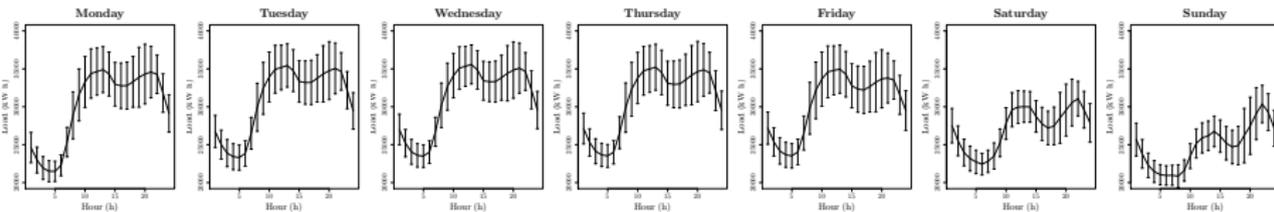




## Características

- Patrón prácticamente constante
- Homocedasticidad



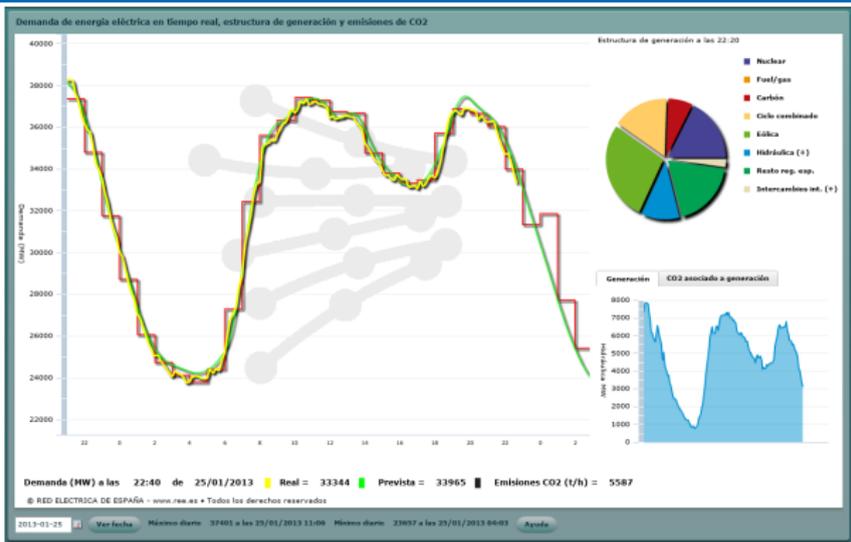


## Características

- Patrón prácticamente constante
- Homocedasticidad



# Predicción de Red Eléctrica Española II



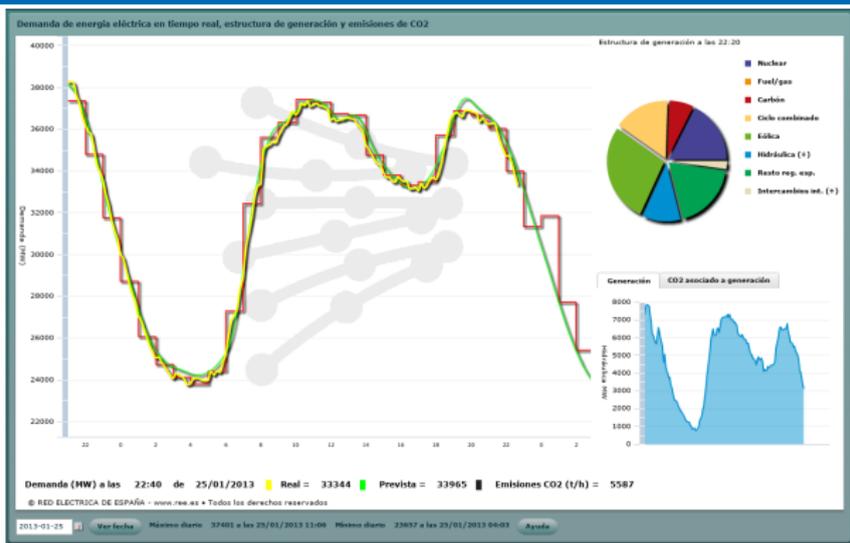
## Predicciones que realiza

Predicción: Combinación de modelos estadísticos y de inteligencia artificial

Programada: Corrección de la predicción tras realizar el plan de operación de la red



# Predicción de Red Eléctrica Española II



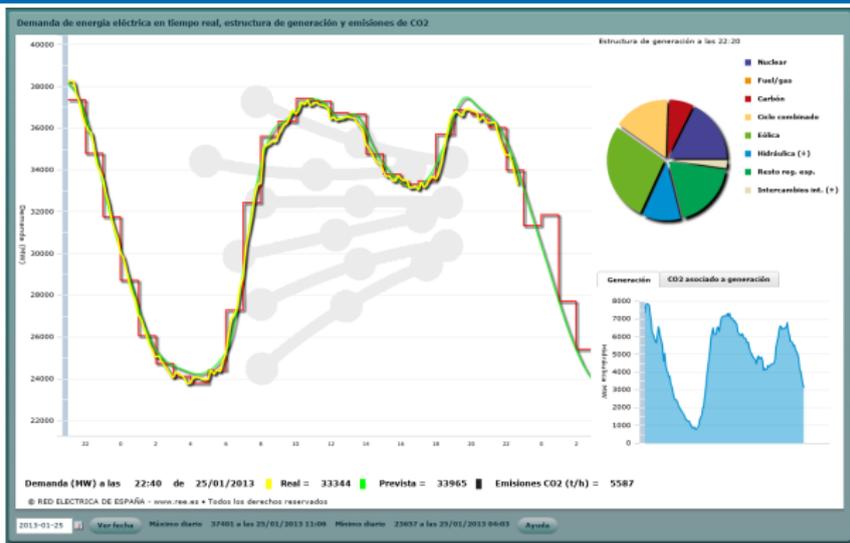
## Predicciones que realiza

**Prevista:** Combinación de modelos estadísticos y de inteligencia artificial

**Programada:** Corrección de la predicción tras realizar el plan de operación de la red



# Predicción de Red Eléctrica Española II



## Predicciones que realiza

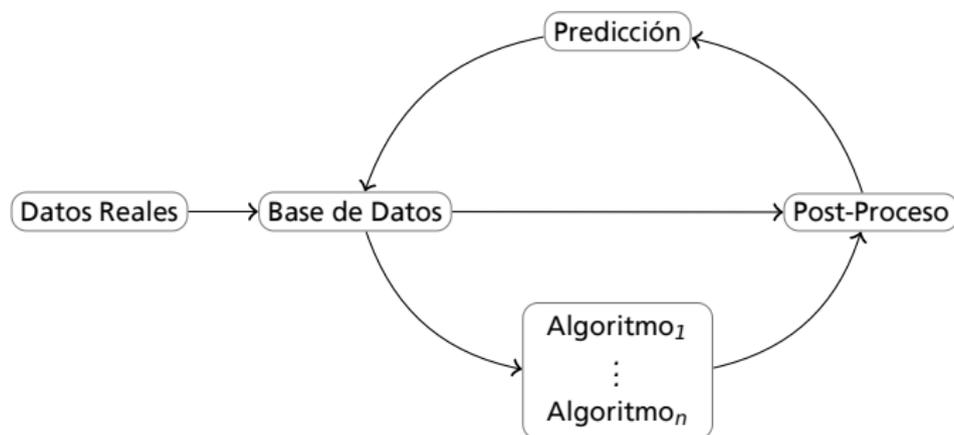
**Prevista:** Combinación de modelos estadísticos y de inteligencia artificial

**Programada:** Corrección de la predicción tras realizar el plan de operación de la red



# Predicción de Red Eléctrica Española III

## El algoritmo de predicción



### Algoritmos

- Random Walks
- Media últimos días
- Exponential Smoothing
- ARIMA
- Support Vector Machines
- Redes Neuronales

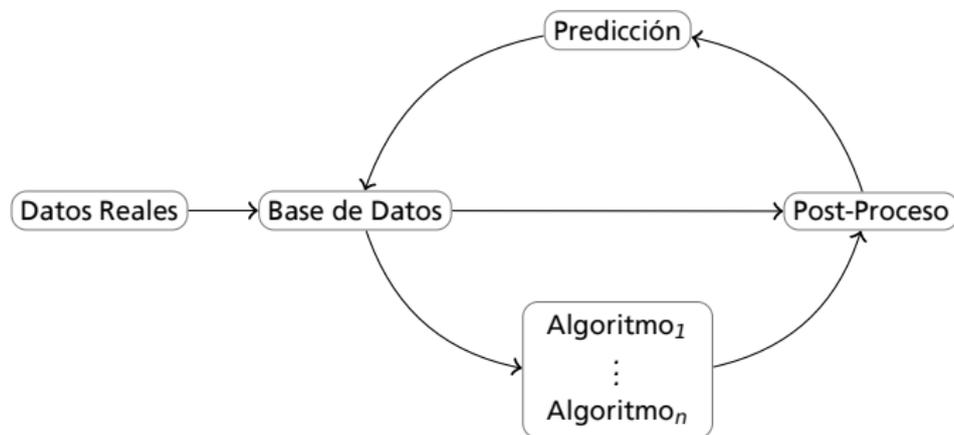
### Post-Procesos

- Corrección de Sesgos
- Selección de Modelos
- Combinación de Modelos



# Predicción de Red Eléctrica Española III

## El algoritmo de predicción



### Algoritmos

- Random Walks
- Media últimos días
- Exponential Smoothing
- ARIMA
- Support Vector Machines
- Redes Neuronales

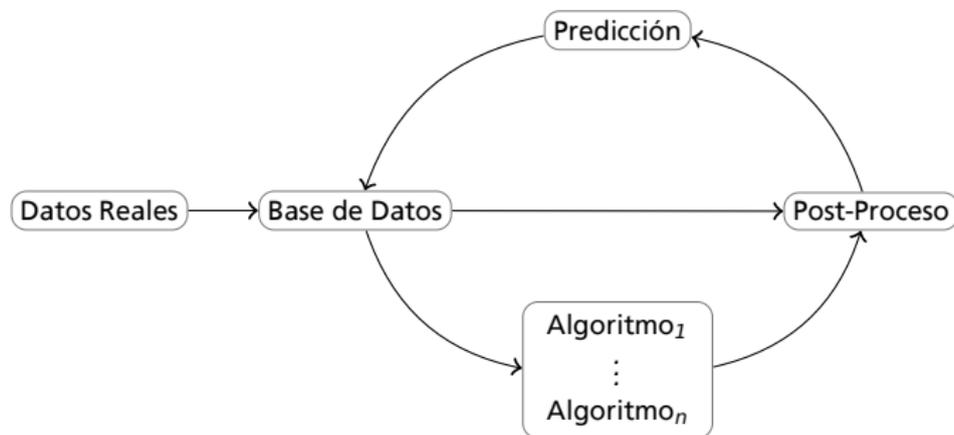
### Post-Procesos

- Corrección de Sesgos
- Selección de Modelos
- Combinación de Modelos



# Predicción de Red Eléctrica Española III

## El algoritmo de predicción



### Algoritmos

- Random Walks
- Media últimos días
- Exponential Smoothing
- ARIMA
- Support Vector Machines
- Redes Neuronales

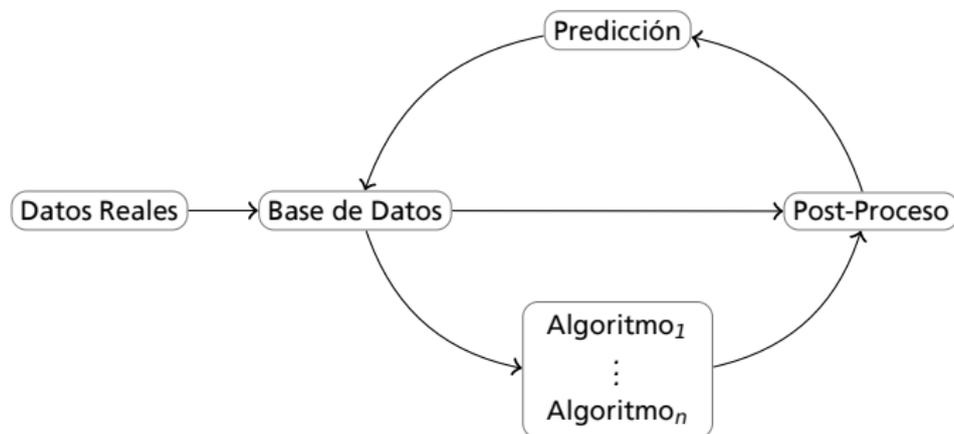
### Post-Procesos

- Corrección de sesgos
- Selección de Modelos
- Combinación de Modelos



# Predicción de Red Eléctrica Española III

## El algoritmo de predicción



### Algoritmos

- Random Walks
- Media últimos días
- Exponential Smoothing
- ARIMA
- Support Vector Machines
- Redes Neuronales

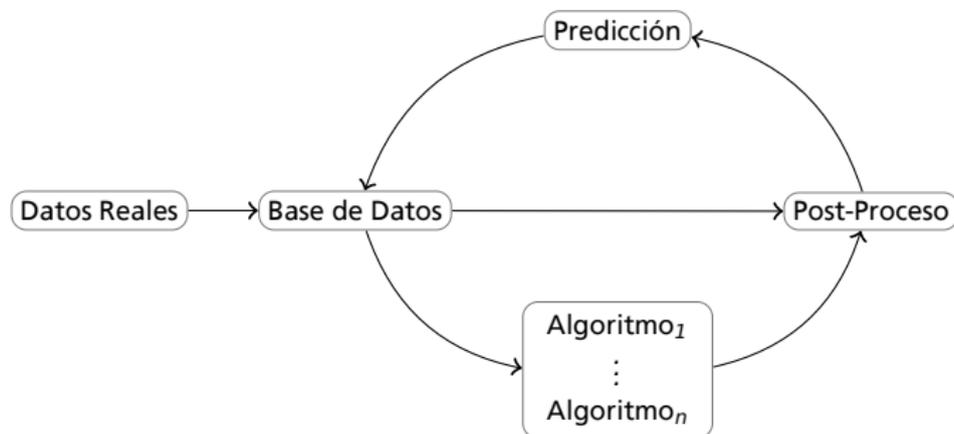
### Post-Procesos

- Corrección de sesgos
- Selección de Modelos
- Combinación de Modelos



# Predicción de Red Eléctrica Española III

## El algoritmo de predicción



### Algoritmos

- Random Walks
- Media últimos días
- Exponential Smoothing
- ARIMA
- Support Vector Machines
- Redes Neuronales

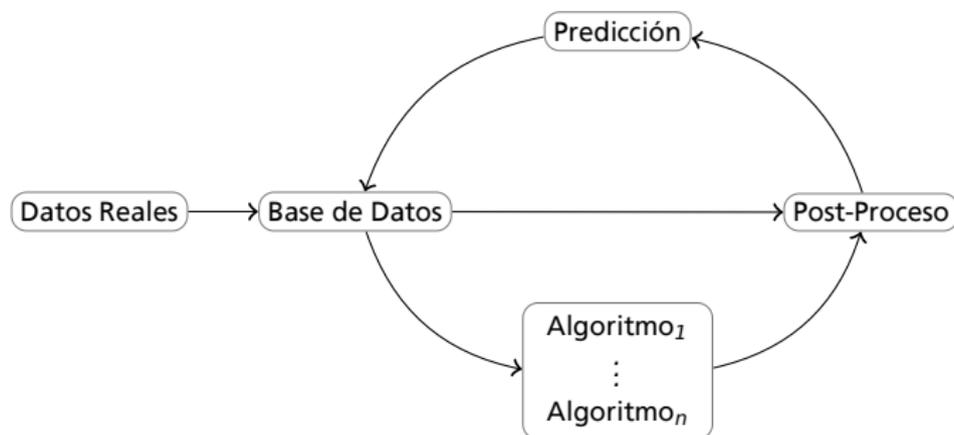
### Post-Procesos

- Corrección de sesgos
- Selección de Modelos
- Combinación de Modelos



# Predicción de Red Eléctrica Española III

## El algoritmo de predicción



### Algoritmos

- Random Walks
- Media últimos días
- Exponential Smoothing
- ARIMA
- Support Vector Machines
- Redes Neuronales

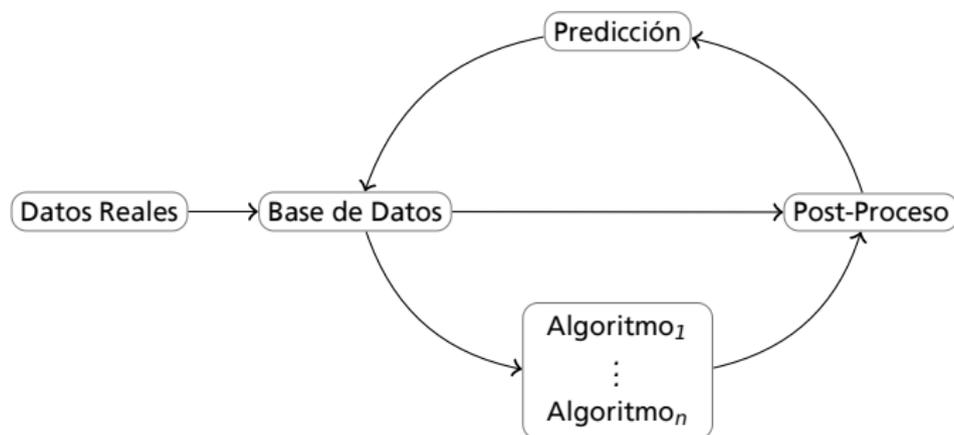
### Post-Procesos

- Corrección de sesgos
- Selección de modelos
- Combinación de modelos



# Predicción de Red Eléctrica Española III

## El algoritmo de predicción



### Algoritmos

- Random Walks
- Media últimos días
- Exponential Smoothing
- ARIMA
- Support Vector Machines
- Redes Neuronales

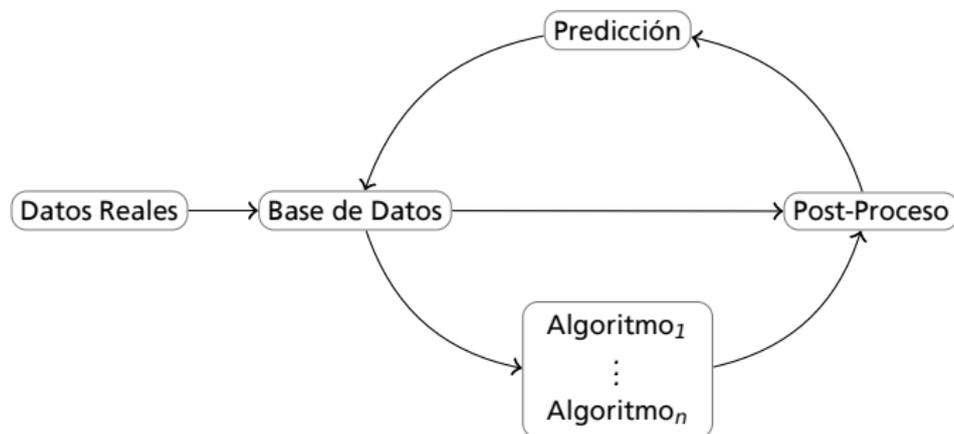
### Post-Procesos

- Corrección de Sesgos
- Selección de Modelos
- Combinación de Modelos



# Predicción de Red Eléctrica Española III

## El algoritmo de predicción



### Algoritmos

- Random Walks
- Media últimos días
- Exponential Smoothing
- ARIMA
- Support Vector Machines
- Redes Neuronales

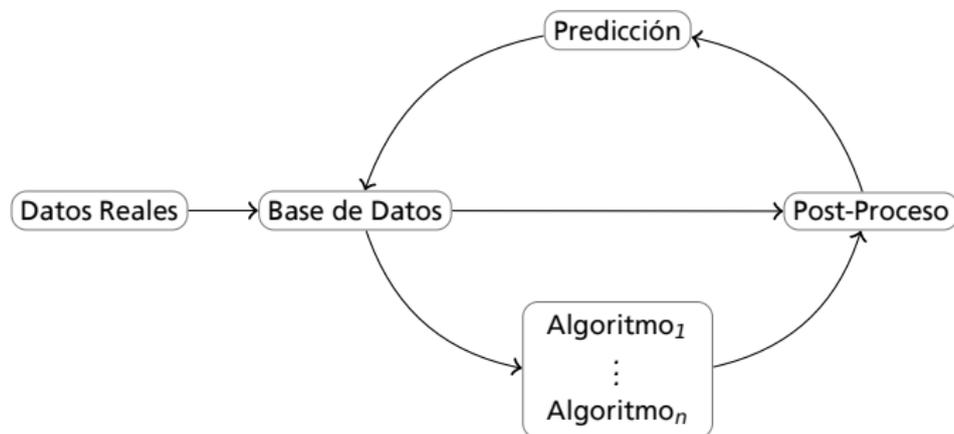
### Post-Procesos

- Corrección de Sesgos
- Selección de Modelos
- Combinación de Modelos



# Predicción de Red Eléctrica Española III

## El algoritmo de predicción



### Algoritmos

- Random Walks
- Media últimos días
- Exponential Smoothing
- ARIMA
- Support Vector Machines
- Redes Neuronales

### Post-Procesos

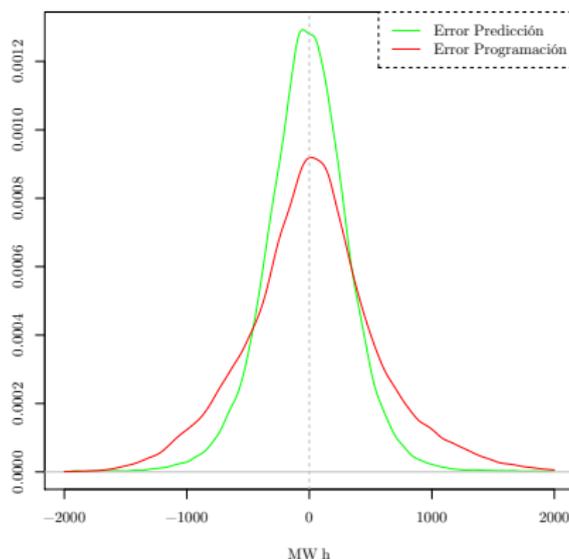
- Corrección de Sesgos
- Selección de Modelos
- Combinación de Modelos



# Predicción de Red Eléctrica Española IV

## Análisis del error

Densidad del Error de Predicción REE



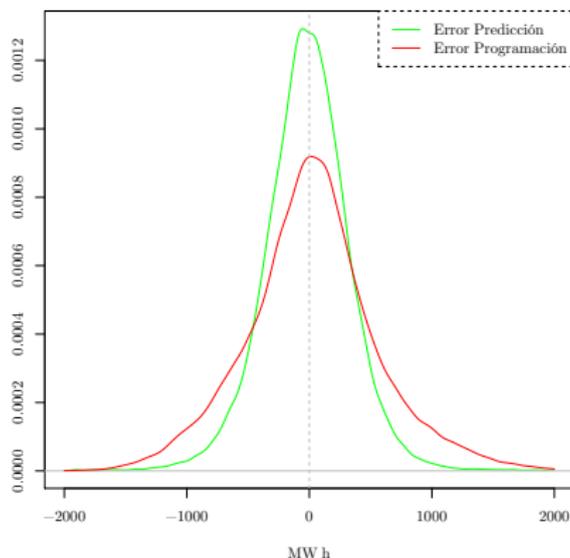
- La curva **prevista** tiene menor error
- La curva **programada** está sesgada



# Predicción de Red Eléctrica Española IV

## Análisis del error

Densidad del Error de Predicción REE



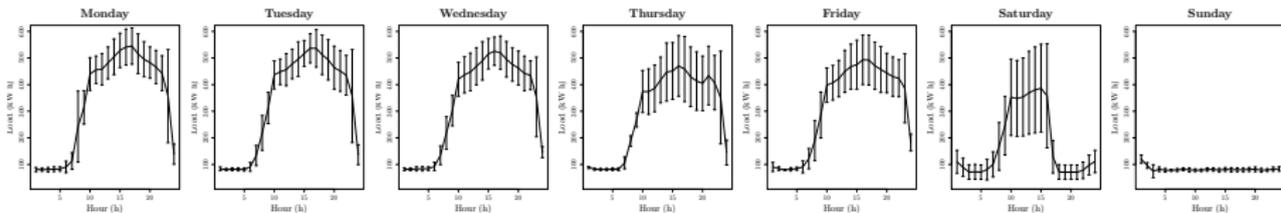
- La curva **prevista** tiene menor error
- La curva **programada** está sesgada



- 1 ¿Cómo se transporta la electricidad?
- 2 ¿Cómo se opera un sistema eléctrico?
- 3 ¿Cómo se genera electricidad?
  - Diseño y gestión de un parque eólico
- 4 ¿Cómo se consume electricidad?
  - Predicciones Macro
  - **Predicciones Micro**
  - Detección de anomalías
- 5 ¿Cómo se planifica el sistema eléctrico?
  - Modelos red de transporte
  - Modelos red de distribución
    - Crecimiento Vertical
    - Crecimiento Horizontal



# Predicción en edificios 1



## Características

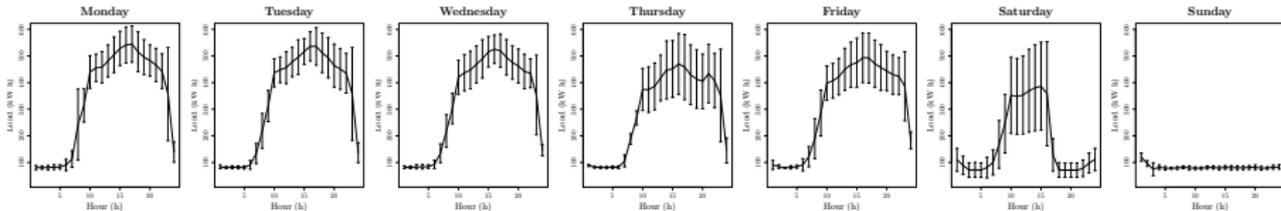
Patrón fuertemente dependiente del tipo de día

Consumo muy variable (incluso dentro del mismo tipo de día)

Heteroscedasticidad



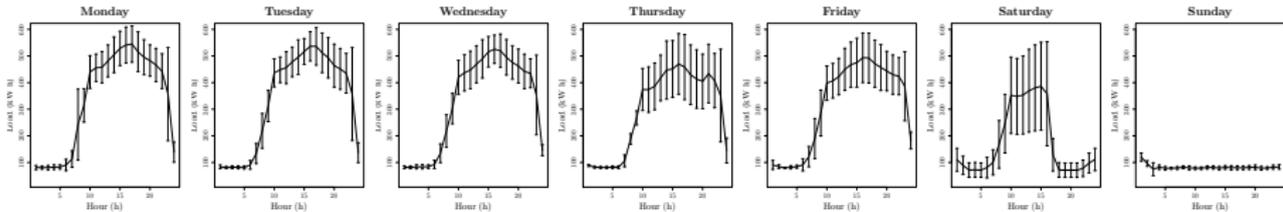
# Predicción en edificios 1



## Características

- Patrón fuertemente dependiente del tipo de día
- Consumo muy variable [incluso dentro del mismo tipo de día]
- Heteroscedasticidad

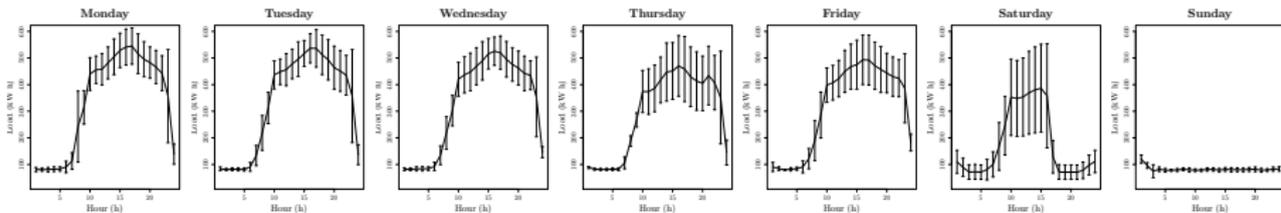




## Características

- Patrón fuertemente dependiente del tipo de día
- Consumo muy variable [incluso dentro del mismo tipo de día]
- Heteroscedasticidad





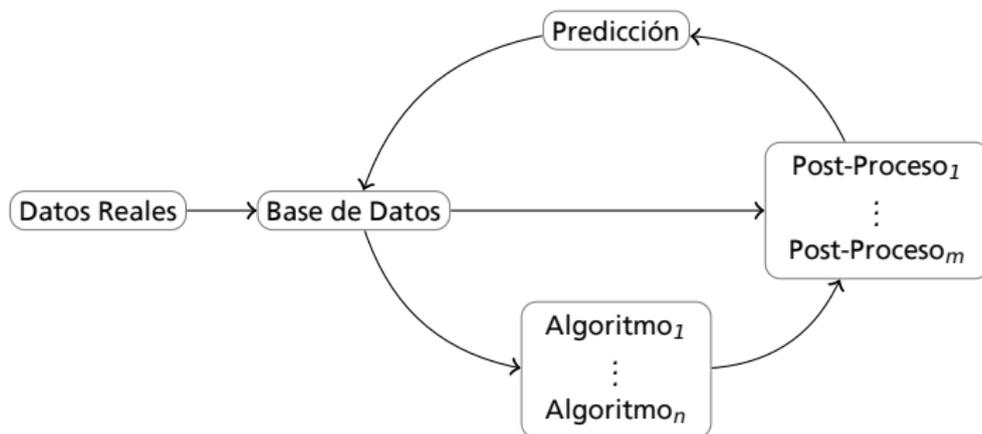
## Características

- Patrón fuertemente dependiente del tipo de día
- Consumo muy variable [incluso dentro del mismo tipo de día]
- Heteroscedasticidad



# Predicción en edificios II

## La metodología



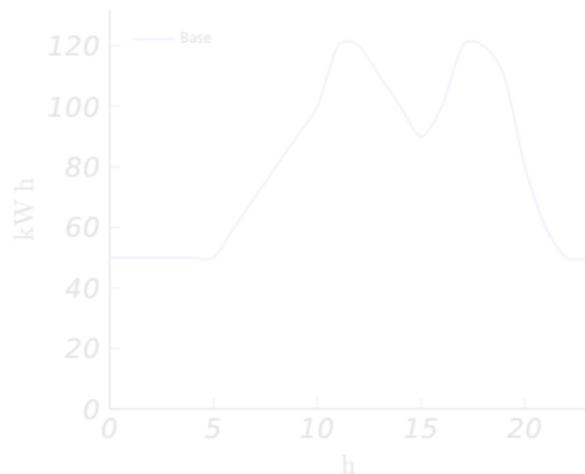


# Predicción en edificios III

## Caracterizar modelos

¿Cómo *marcamos* los días que pertenecen a cada modelo?

Iguals



Distintos



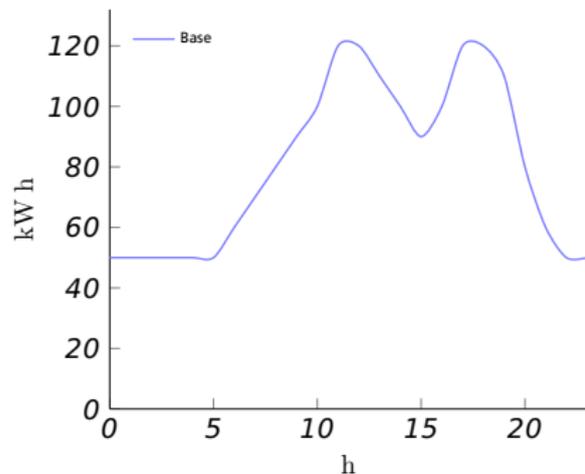
...y aún queda el problema de **PREDECIRLOS**

# Predicción en edificios III

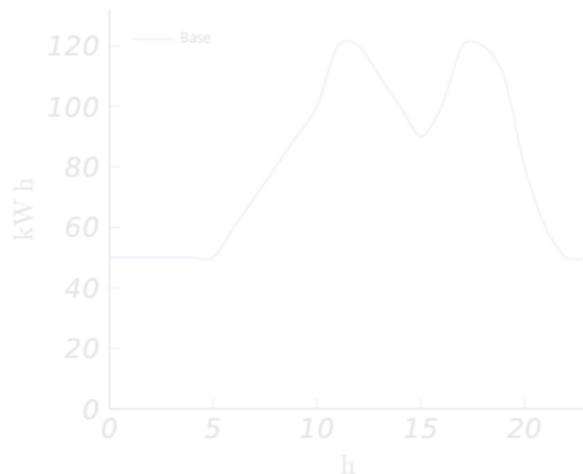
## Caracterizar modelos

¿Cómo *marcamos* los días que pertenecen a cada modelo?

Iguals



Distintos



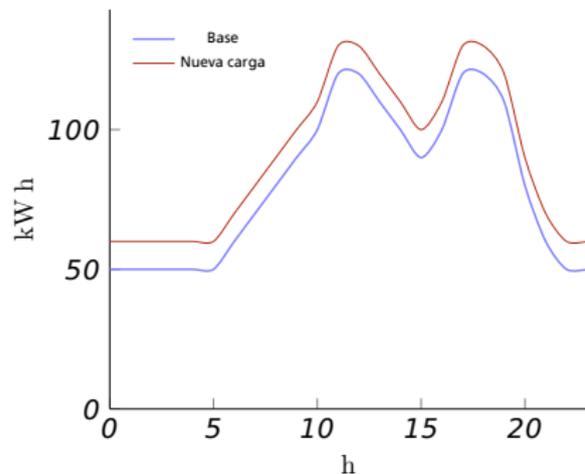
...y aún queda el problema de **PREDECIRLOS**

# Predicción en edificios III

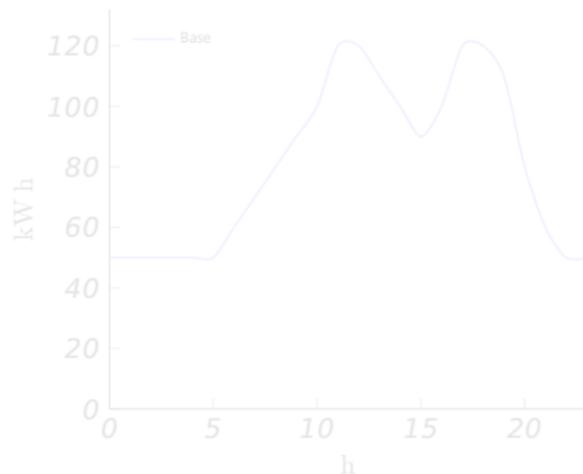
## Caracterizar modelos

¿Cómo *marcamos* los días que pertenecen a cada modelo?

Iguals



Distintos



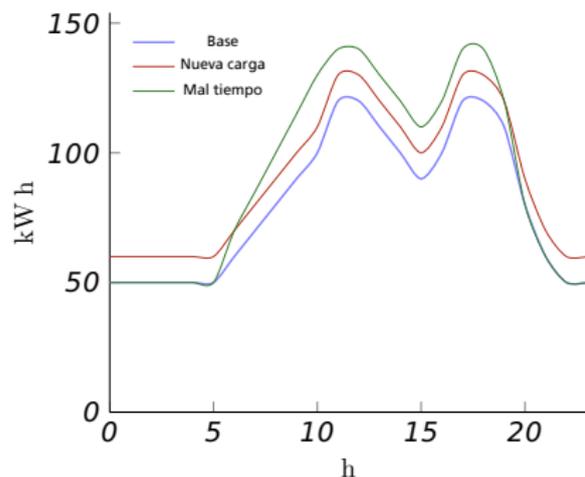
...y aún queda el problema de **PREDECIRLOS**

# Predicción en edificios III

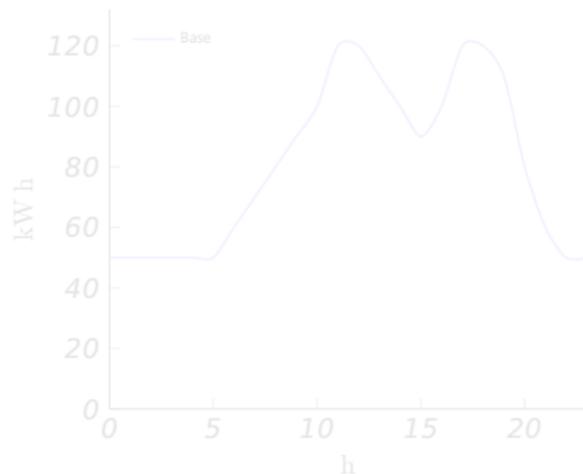
## Caracterizar modelos

¿Cómo *marcamos* los días que pertenecen a cada modelo?

Iguals



Distintos



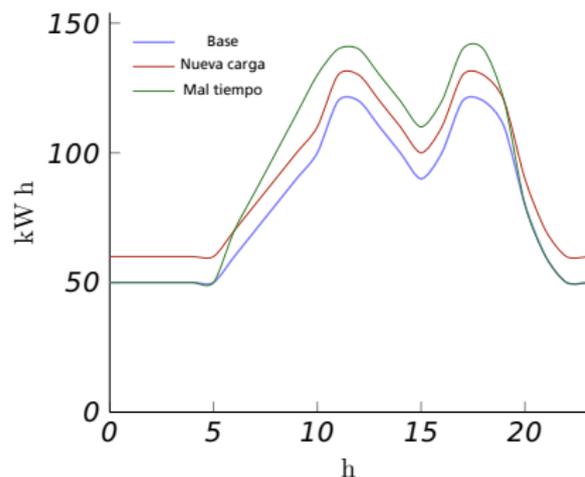
...y aún queda el problema de **PREDECIRLOS**

# Predicción en edificios III

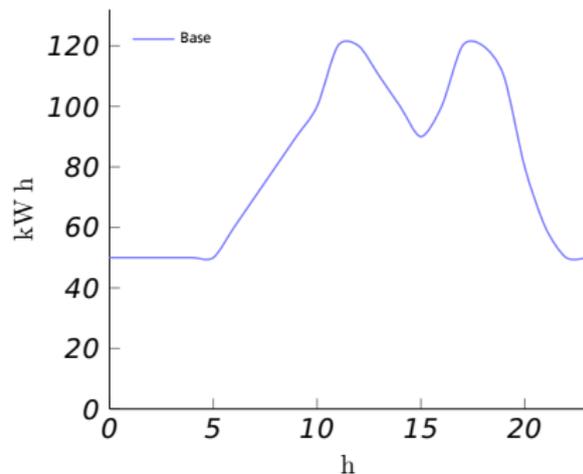
## Caracterizar modelos

¿Cómo *marcamos* los días que pertenecen a cada modelo?

Iguales



Distintos



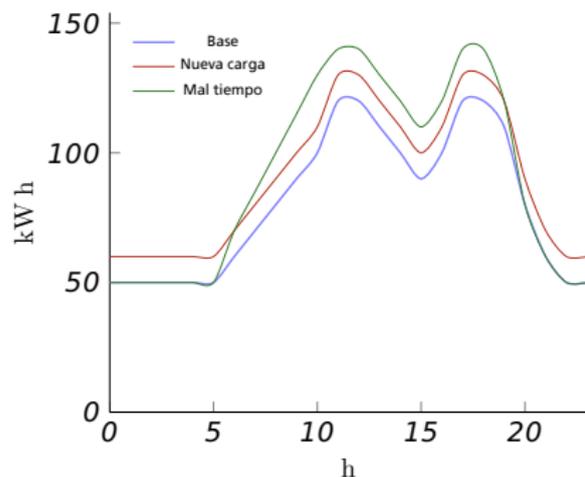
...y aún queda el problema de **PREDECIRLOS**

# Predicción en edificios III

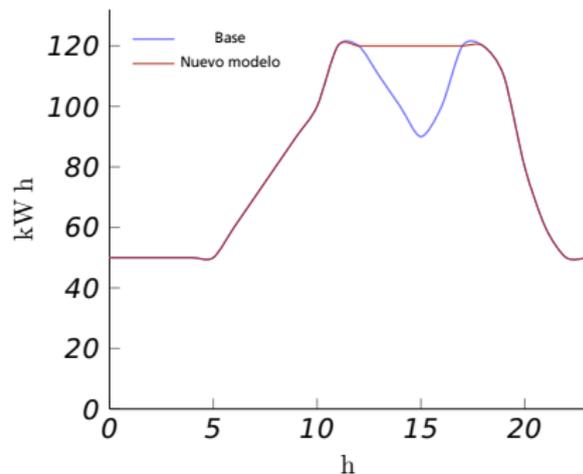
## Caracterizar modelos

¿Cómo *marcamos* los días que pertenecen a cada modelo?

### Iguales



### Distintos



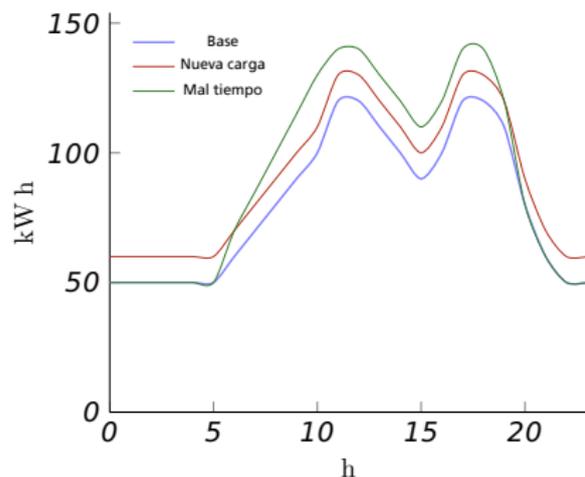
...y aún queda el problema de **PREDECIRLOS**

# Predicción en edificios III

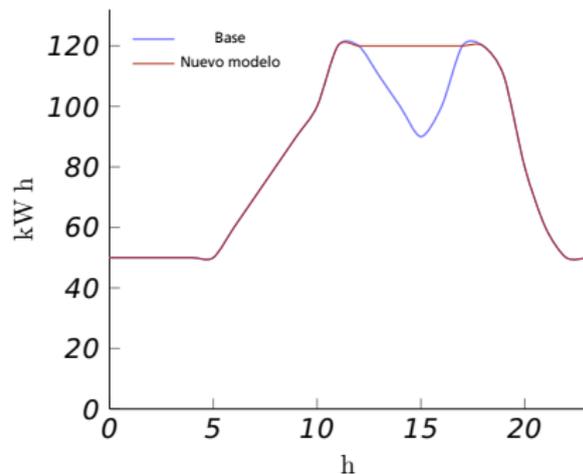
## Caracterizar modelos

¿Cómo *marcamos* los días que pertenecen a cada modelo?

### Iguales



### Distintos



...y aún queda el problema de **PREDECIRLOS**

- 1 ¿Cómo se transporta la electricidad?
- 2 ¿Cómo se opera un sistema eléctrico?
- 3 ¿Cómo se genera electricidad?
  - Diseño y gestión de un parque eólico
- 4 ¿Cómo se consume electricidad?
  - Predicciones Macro
  - Predicciones Micro
  - **Detección de anomalías**
- 5 ¿Cómo se planifica el sistema eléctrico?
  - Modelos red de transporte
  - Modelos red de distribución
    - Crecimiento Vertical
    - Crecimiento Horizontal

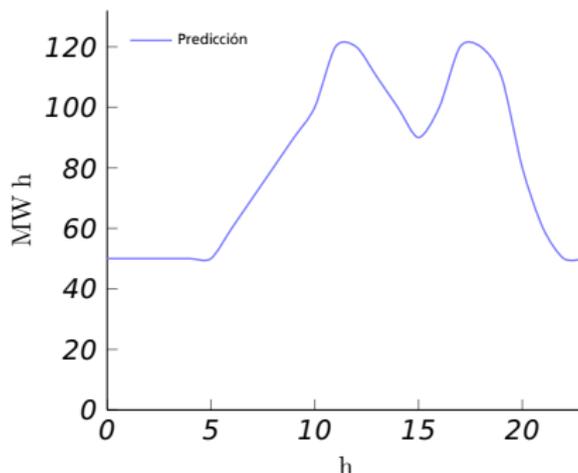


## Detección de anomalías

- Suponiendo que el modelo de predicción es válido
- Si una medida se desvía respecto del valor predicho tenemos una anomalía que hay que clasificar [y actuar en consecuencia]

Medida Perdida:

Valor Anómalo:



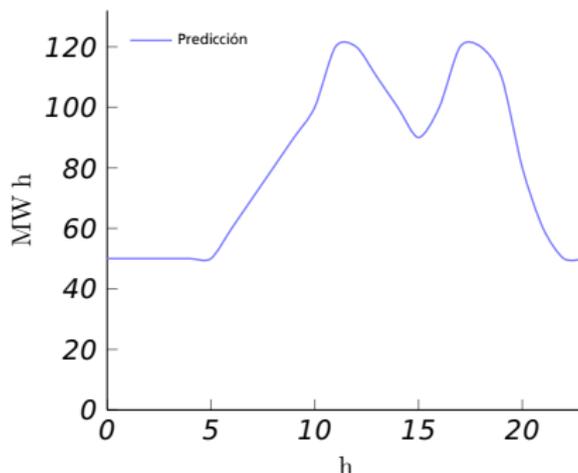
## Detección de anomalías

- Suponiendo que el modelo de predicción es válido
- Si una medida se desvía respecto del valor predicho tenemos una anomalía que hay que clasificar [y actuar en consecuencia]

**Medida Perdida:** falla la comunicación entre el receptor y la base de datos

**Fallo Medidor:** el aparato de medida recoge una medida errónea

**Fraude:** la lectura ha sido trucada de alguna forma



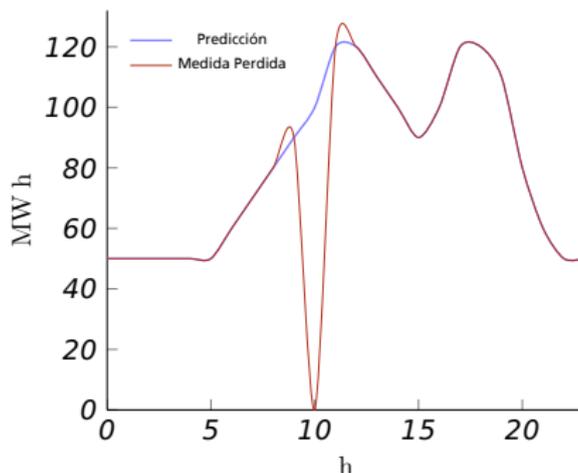
## Detección de anomalías

- Suponiendo que el modelo de predicción es válido
- Si una medida se desvía respecto del valor predicho tenemos una anomalía que hay que clasificar [y actuar en consecuencia]

**Medida Perdida:** falla la comunicación entre el receptor y la base de datos

Fallo Medidor: el aparato de medida recoge una medida errónea

Fraude: la lectura ha sido trucada de alguna forma



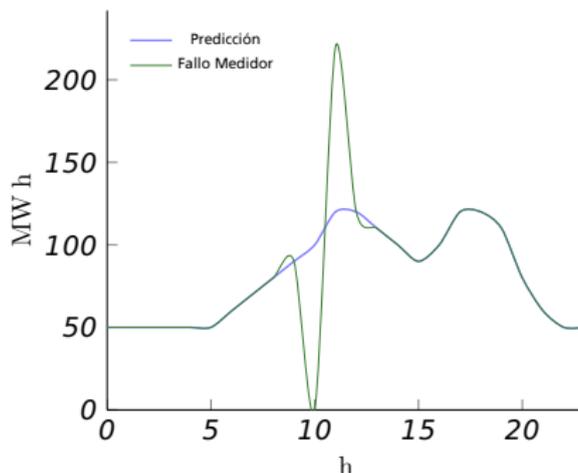
## Detección de anomalías

- Suponiendo que el modelo de predicción es válido
- Si una medida se desvía respecto del valor predicho tenemos una anomalía que hay que clasificar [y actuar en consecuencia]

**Medida Perdida:** falla la comunicación entre el receptor y la base de datos

**Fallo Medidor:** el aparato de medida recoge una medida errónea

**Fraude:** la lectura ha sido trucada de alguna forma



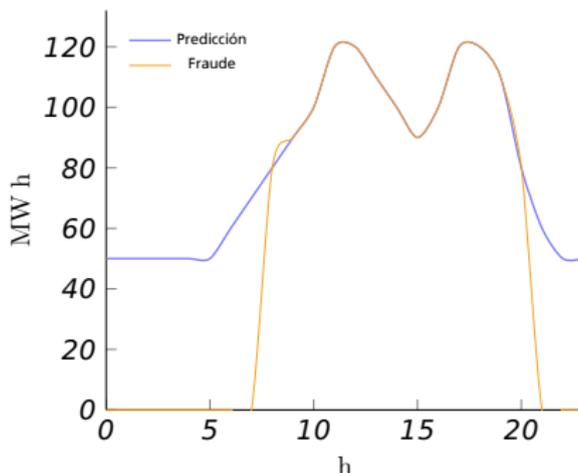
## Detección de anomalías

- Suponiendo que el modelo de predicción es válido
- Si una medida se desvía respecto del valor predicho tenemos una anomalía que hay que clasificar [y actuar en consecuencia]

**Medida Perdida:** falla la comunicación entre el receptor y la base de datos

**Fallo Medidor:** el aparato de medida recoge una medida errónea

**Fraude:** la lectura ha sido trucada de alguna forma



## Detección de anomalías

- Suponiendo que el modelo de predicción es **válido**
- Si una medida se desvía respecto del valor predicho tenemos una anomalía que hay que clasificar [y actuar en consecuencia]

**Medida Perdida:** falla la comunicación entre el receptor y la base de datos

**Fallo Medidor:** el aparato de medida recoge una medida errónea

**Fraude:** la lectura ha sido trucada de alguna forma

¿Qué significa **válido**?

### Válido puede significar

**Explicar:** Que el error siga una distribución conocida de media cero y varianza acotada

Predecir: Que el error medio sea bajo

Operador: Que el error máximo sea bajo

Comercializador: Que el coste de usar la predicción sea bajo

### Válido puede significar

**Explicar:** Que el error siga una distribución conocida de media cero y varianza acotada

**Predecir:** Que el error medio sea bajo

**Operador:** Que el error máximo sea bajo

**Comercializador:** Que el coste de usar la predicción sea bajo

### Válido puede significar

**Explicar:** Que el error siga una distribución conocida de media cero y varianza acotada

**Predecir:** Que el error medio sea bajo

**Operador:** Que el error máximo sea bajo

**Comercializador:** Que el coste de usar la predicción sea bajo

### Válido puede significar

**Explicar:** Que el error siga una distribución conocida de media cero y varianza acotada

**Predecir:** Que el error medio sea bajo

**Operador:** Que el error máximo sea bajo

**Comercializador:** Que el coste de usar la predicción sea bajo

## Predicción:

- Caracterizador de modelos
- Predictor de modelos
- Clasificador de anomalías



## Predicción:

- **Caracterizador de modelos**
- Predictor de modelos
- Clasificador de anomalías



## Predicción:

- Caracterizador de modelos
- Predictor de modelos
- Clasificador de anomalías



## Predicción:

- Caracterizador de modelos
- Predictor de modelos
- Clasificador de anomalías



- 1 ¿Cómo se transporta la electricidad?
- 2 ¿Cómo se opera un sistema eléctrico?
- 3 ¿Cómo se genera electricidad?
  - Diseño y gestión de un parque eólico
- 4 ¿Cómo se consume electricidad?
  - Predicciones Macro
  - Predicciones Micro
  - Detección de anomalías
- 5 **¿Cómo se planifica el sistema eléctrico?**
  - **Modelos red de transporte**
  - **Modelos red de distribución**
    - Crecimiento Vertical
    - Crecimiento Horizontal



# ¿Cómo se planifica? I

## Problema

El proceso de construcción de una infraestructuras eléctrica es lento

La idea es bien simple:

Hay que anticiparse a las sobrecargas del sistema

La solución, conocer de antemano:

La localización y cantidad de potencia que se va a demandar

La localización y cantidad de potencia que se puede transportar

¡Hay que realizar predicciones!



# ¿Cómo se planifica? I

## Problema

El proceso de construcción de una infraestructuras eléctrica es lento

La idea es bien simple:

Hay que anticiparse a las sobrecargas del sistema

La solución, conocer de antemano:

La localización y cantidad de potencia que se va a demandar

La localización y cantidad de potencia que se puede transportar

¡Hay que realizar predicciones!



# ¿Cómo se planifica? I

## Problema

El proceso de construcción de una infraestructuras eléctrica es lento

La idea es bien simple:

Hay que anticiparse a las sobrecargas del sistema

La solución, conocer de antemano:

- La localización y cantidad de potencia que se va a demandar
- La localización y cantidad de potencia que se puede transportar

¡Hay que realizar predicciones!



# ¿Cómo se planifica? I

## Problema

El proceso de construcción de una infraestructuras eléctrica es lento

## La idea es bien simple:

Hay que anticiparse a las sobrecargas del sistema

## La solución, conocer de antemano:

- La localización y cantidad de potencia que se va a demandar
- La localización y cantidad de potencia que se puede transportar

¡Hay que realizar predicciones!



# ¿Cómo se planifica? I

## Problema

El proceso de construcción de una infraestructuras eléctrica es lento

## La idea es bien simple:

Hay que anticiparse a las sobrecargas del sistema

## La solución, conocer de antemano:

- La localización y cantidad de potencia que se va a demandar
- La localización y cantidad de potencia que se puede transportar

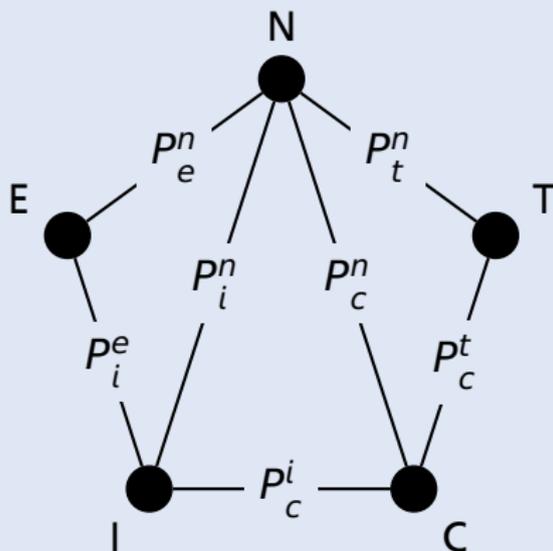
¡Hay que realizar predicciones!



- 1 ¿Cómo se transporta la electricidad?
- 2 ¿Cómo se opera un sistema eléctrico?
- 3 ¿Cómo se genera electricidad?
  - Diseño y gestión de un parque eólico
- 4 ¿Cómo se consume electricidad?
  - Predicciones Macro
  - Predicciones Micro
  - Detección de anomalías
- 5 ¿Cómo se planifica el sistema eléctrico?
  - **Modelos red de transporte**
  - Modelos red de distribución
    - Crecimiento Vertical
    - Crecimiento Horizontal



# Modelo hoja de cálculo de la red de transporte

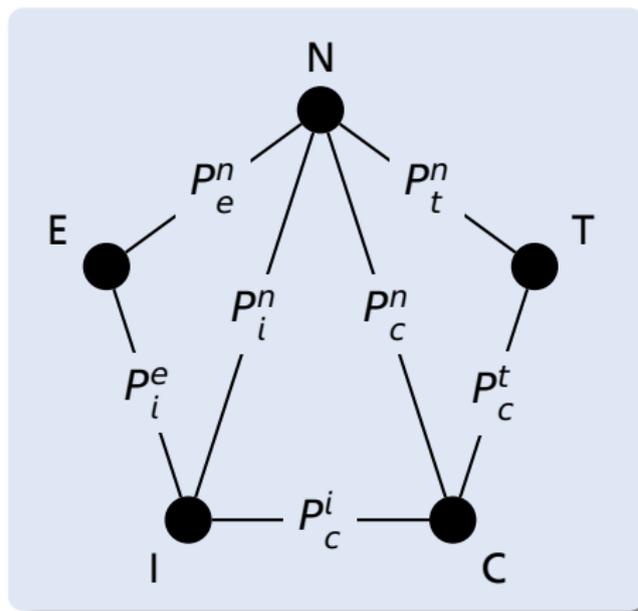


¿Habr  suficiente potencia instalada?

Año	E	N	T	I	C	$\Sigma$
2003	1	4	4	-4	-1	4
2004	1,21	4	3,28	-4,1	-1,5	2,89
2005	1,44	4	2,7	-4,2	-2	1,94
2006	1,69	4	2,22	-4,3	-2,5	1,11
2007	1,96	4	1,83	-4,4	-3	0,39
2008	2,25	4	1,5	-4,5	-3	0,25
2009	2,56	4	1,23	-4,5	-3,2	0,09
2010	2,89	4	1,01	-4,3	-3,5	0,1
2011	3,24	4	0,8	-4,2	-3,7	0,14
2012	3,61	4	0,64	-4,1	-4	0,15



# Modelo hoja de cálculo de la red de transporte

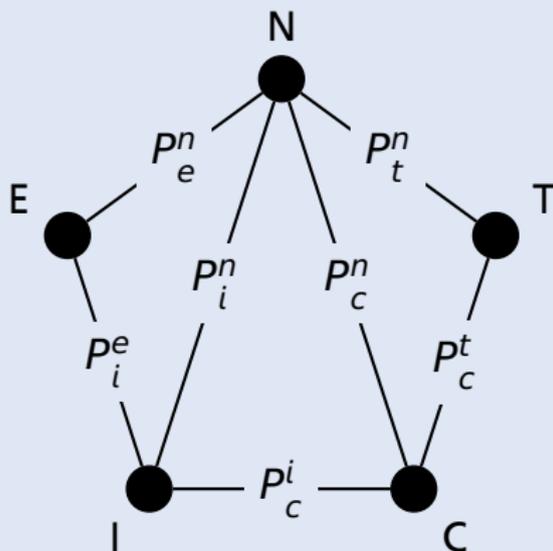


¿Habr  suficiente potencia instalada?

Año	E	N	T	I	C	$\Sigma$
2003	1	4	4	-4	-1	4
2004	1,21	4	3,28	-4,1	-1,5	2,89
2005	1,44	4	2,7	-4,2	-2	1,94
2006	1,69	4	2,22	-4,3	-2,5	1,11
2007	1,96	4	1,83	-4,4	-3	0,39
2008	2,25	4	1,5	-4,5	-3	0,25
2009	2,56	4	1,23	-4,5	-3,2	0,09
2010	2,89	4	1,01	-4,3	-3,5	0,1
2011	3,24	4	0,8	-4,2	-3,7	0,14
2012	3,61	4	0,64	-4,1	-4	0,15
2013	4	4	0,5	-4	-4,2	0,3
2014	4,41	4	0,39	-4,3	-4,5	0
2015	4,84	4	0,29	-4,7	-5	-0,57
2016	5,29	4	0,21	-5	-5,2	-0,7
2017	5,76	4	0,15	-5,2	-5,5	-0,79



# Modelo hoja de cálculo de la red de transporte

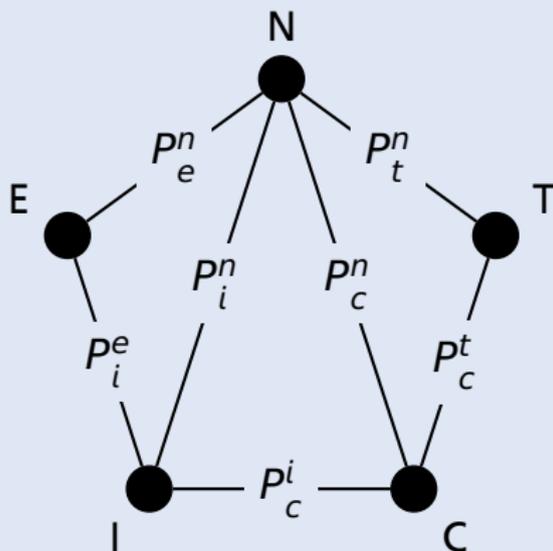


¿Habrà suficiente potencia instalada?

Año	E	N	T	I	C	$\Sigma$
2003	1	4	4	-4	-1	4
2004	1,21	4	3,28	-4,1	-1,5	2,89
2005	1,44	4	2,7	-4,2	-2	1,94
2006	1,69	4	2,22	-4,3	-2,5	1,11
2007	1,96	4	1,83	-4,4	-3	0,39
2008	2,25	4	1,5	-4,5	-3	0,25
2009	2,56	4	1,23	-4,5	-3,2	0,09
2010	2,89	4	1,01	-4,3	-3,5	0,1
2011	3,24	4	0,8	-4,2	-3,7	0,14
2012	3,61	4	0,64	-4,1	-4	0,15
2013	4	4	0,5	-4	-4,2	0,3
2014	4,41	4	0,39	-4,3	-4,5	0
2015	4,84	4	0,29	-4,7	-5	-0,57
2016	5,29	4	0,21	-5	-5,2	-0,7
2017	5,76	4	0,15	-5,2	-5,5	-0,79



# Modelo hoja de cálculo de la red de transporte



¿Habr  suficiente potencia instalada?

Año	E	N	T	I	C	$\Sigma$
2003	1	4	4	-4	-1	4
2004	1,21	4	3,28	-4,1	-1,5	2,89
2005	1,44	4	2,7	-4,2	-2	1,94
2006	1,69	4	2,22	-4,3	-2,5	1,11
2007	1,96	4	1,83	-4,4	-3	0,39
2008	2,25	4	1,5	-4,5	-3	0,25
2009	2,56	4	1,23	-4,5	-3,2	0,09
2010	2,89	4	1,01	-4,3	-3,5	0,1
2011	3,24	4	0,8	-4,2	-3,7	0,14
2012	3,61	4	0,64	-4,1	-4	0,15
2013	4	4	0,5	-4	-4,2	0,3
2014	4,41	4	0,39	-4,3	-4,5	0
2015	4,84	4	0,29	-4,7	-5	-0,57
2016	5,29	4	0,21	-5	-5,2	-0,7
2017	5,76	4	0,15	-5,2	-5,5	-0,79



# Modelo *hoja de cálculo* de la red de transporte

## Pros y Contras

### Pros

- Es extremadamente sencillo

### Contras

- No tiene en cuenta nada



# Modelo *hoja de cálculo* de la red de transporte

## Pros y Contras

### Pros

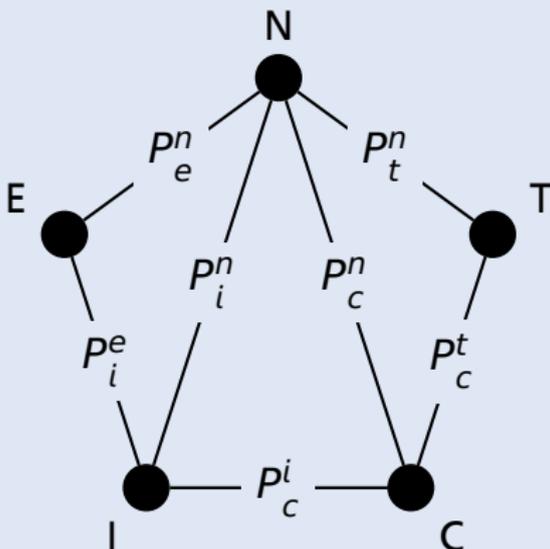
- Es extremadamente sencillo

### Contras

- No tiene en cuenta nada



# Modelo en grafo de la red de transporte



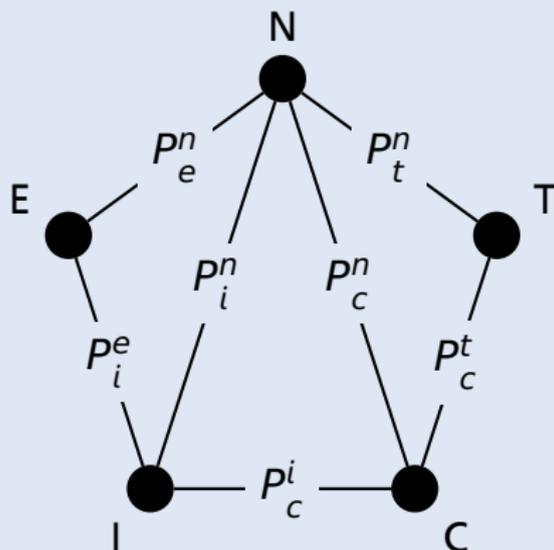
¿Podremos transportar la potencia demandada?

Año	E	N	T	I	C	$\Sigma$
2003	1	4	4	-4	-1	4
2004	1,21	4	3,28	-4,1	-1,5	2,89
2005	1,44	4	2,7	-4,2	-2	1,94
2006	1,69	4	2,22	-4,3	-2,5	1,11
2007	1,96	4	1,83	-4,4	-3	0,39
2008	2,25	4	1,5	-4,5	-3	0,25
2009	2,56	4	1,23	-4,5	-3,2	0,09
2010	2,89	4	1,01	-4,3	-3,5	0,1
2011	3,24	4	0,8	-4,2	-3,7	0,14
2012	3,61	4	0,64	-4,1	-4	0,15
2013	4	4	0,5	-4	-4,2	0,3
2014	4,41	4	1,39	-4,3	-4,5	1
2015	4,84	4	1,29	-4,7	-5	0,43
2016	5,29	4	1,21	-5	-5,2	0,3
2017	5,76	4	1,15	-5,2	-5,5	0,21

Aplicas un algoritmo de flujo máximo



# Modelo en grafo de la red de transporte



¿Podremos transportar la potencia demandada?

Año	E	N	T	I	C	$\Sigma$
2003	1	4	4	-4	-1	4
2004	1,21	4	3,28	-4,1	-1,5	2,89
2005	1,44	4	2,7	-4,2	-2	1,94
2006	1,69	4	2,22	-4,3	-2,5	1,11
2007	1,96	4	1,83	-4,4	-3	0,39
2008	2,25	4	1,5	-4,5	-3	0,25
2009	2,56	4	1,23	-4,5	-3,2	0,09
2010	2,89	4	1,01	-4,3	-3,5	0,1
2011	3,24	4	0,8	-4,2	-3,7	0,14
2012	3,61	4	0,64	-4,1	-4	0,15
2013	4	4	0,5	-4	-4,2	0,3
2014	4,41	4	1,39	-4,3	-4,5	1
2015	4,84	4	1,29	-4,7	-5	0,43
2016	5,29	4	1,21	-5	-5,2	0,3
2017	5,76	4	1,15	-5,2	-5,5	0,21

Aplicas un algoritmo de flujo máximo



# Modelo en grafo de la red de transporte:

## Pros y Contras

### Pros

- Fácil de entender y resolver

### Contras

- No tiene en cuenta las pérdidas
- Supone que se puede *enrutar* energía



# Modelo en grafo de la red de transporte:

## Pros y Contras

### Pros

- Fácil de entender y resolver

### Contras

- No tiene en cuenta las pérdidas
- Supone que se puede *enrutar* energía



# Modelo en grafo de la red de transporte:

## Pros y Contras

### Pros

- Fácil de entender y resolver

### Contras

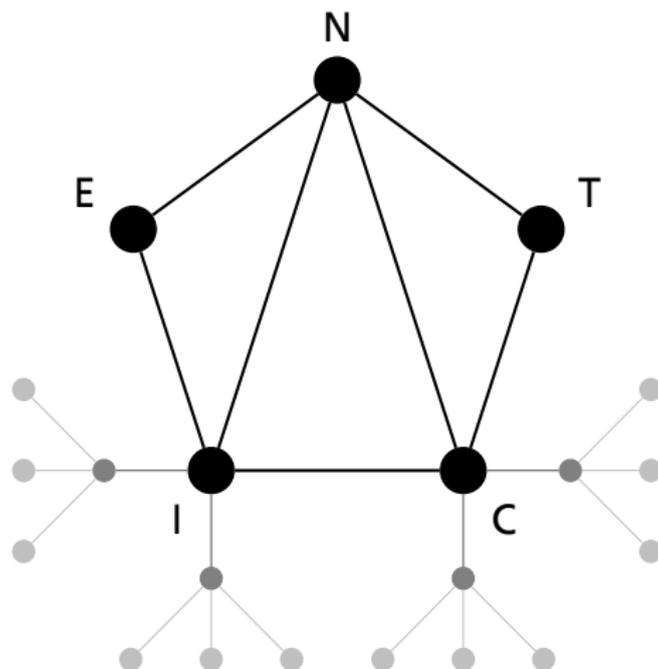
- No tiene en cuenta las pérdidas
- Supone que se puede *enrutar* energía



- 1 ¿Cómo se transporta la electricidad?
- 2 ¿Cómo se opera un sistema eléctrico?
- 3 ¿Cómo se genera electricidad?
  - Diseño y gestión de un parque eólico
- 4 ¿Cómo se consume electricidad?
  - Predicciones Macro
  - Predicciones Micro
  - Detección de anomalías
- 5 ¿Cómo se planifica el sistema eléctrico?
  - Modelos red de transporte
  - **Modelos red de distribución**
    - Crecimiento Vertical
    - Crecimiento Horizontal



# Modelo de predicción de la red de distribución





## Definición

**Crecimiento Vertical:** Incremento de la demanda debido a los actuales consumidores

**Crecimiento Horizontal:** Incremento de la demanda debido a los nuevos consumidores

## Definición

**Crecimiento Vertical:** Incremento de la demanda debido a los actuales consumidores

**Crecimiento Horizontal:** Incremento de la demanda debido a los nuevos consumidores

- 1 ¿Cómo se transporta la electricidad?
- 2 ¿Cómo se opera un sistema eléctrico?
- 3 ¿Cómo se genera electricidad?
  - Diseño y gestión de un parque eólico
- 4 ¿Cómo se consume electricidad?
  - Predicciones Macro
  - Predicciones Micro
  - Detección de anomalías
- 5 ¿Cómo se planifica el sistema eléctrico?
  - Modelos red de transporte
  - Modelos red de distribución
    - Crecimiento Vertical
    - Crecimiento Horizontal



### Una idea: *bottom-up*

- Se caracterizan los consumidores por su demanda
- Se hace un modelo para cada tipo de consumidor
- Se hace la agregación en función de los consumidores que tenga cada área

### Problema

Hay muy pocas medidas de consumidores individuales

### Una idea: *bottom-up*

- Se caracterizan los consumidores por su demanda
- Se hace un modelo para cada tipo de consumidor
- Se hace la agregación en función de los consumidores que tenga cada área

### Problema

Hay muy pocas medidas de consumidores individuales

### Una idea: *bottom-up*

- Se caracterizan los consumidores por su demanda
- Se hace un modelo para cada tipo de consumidor
- Se hace la agregación en función de los consumidores que tenga cada área

### Problema

Hay muy pocas medidas de consumidores individuales

### Una idea: *bottom-up*

- Se caracterizan los consumidores por su demanda
- Se hace un modelo para cada tipo de consumidor
- Se hace la agregación en función de los consumidores que tenga cada área

### Problema

Hay muy pocas medidas de consumidores individuales

### Otra idea: *top-down*

- Se ajusta un modelo a la curva agregada
- Se hace un estudio para caracterizar la contribución de cada tipo de consumidor y se desagrega la curva
- Se hace la agregación en función de los consumidores que tenga cada área

### Problema

¡Tampoco se tienen muchas medidas agregadas!

### Otra idea: *top-down*

- Se ajusta un modelo a la curva agregada
- Se hace un estudio para caracterizar la contribución de cada tipo de consumidor y se desagrega la curva
- Se hace la agregación en función de los consumidores que tenga cada área

### Problema

¡Tampoco se tienen muchas medidas agregadas!

# Predicción del Crecimiento Vertical II

Metodología *top-down*

## Otra idea: *top-down*

- Se ajusta un modelo a la curva agregada
- Se hace un estudio para caracterizar la contribución de cada tipo de consumidor y se desagrega la curva
- Se hace la agregación en función de los consumidores que tenga cada área

## Problema

¡Tampoco se tienen muchas medidas agregadas!

# Predicción del Crecimiento Vertical II

Metodología *top-down*

## Otra idea: *top-down*

- Se ajusta un modelo a la curva agregada
- Se hace un estudio para caracterizar la contribución de cada tipo de consumidor y se desagrega la curva
- Se hace la agregación en función de los consumidores que tenga cada área

## Problema

¡Tampoco se tienen muchas medidas agregadas!

# Predicción del Crecimiento Vertical III

Modelo *top-down*: Realizando la predicción agregada

## Modelos

### Autoregresivo:

- Usamos solo los propios valores de la serie
- Se ajusta un modelo ARIMA
- No sirve en períodos de *crisis*

### Flotante:

- Medioambientales:  
Macroeconómicas:
- 5-15

# Predicción del Crecimiento Vertical III

Modelo *top-down*: Realizando la predicción agregada

## Modelos

### Autoregresivo:

- Usamos solo los propios valores de la serie
- Se ajusta un modelo ARIMA
- No sirve en períodos de *crisis*

### Flotante:

- Medioambientales:
- Macroeconómicas:

5-15

### Modelos

#### Autoregresivo:

- Usamos solo los propios valores de la serie
- Se ajusta un modelo ARIMA
- No sirve en períodos de *crisis*

#### Flotante:

- Medioambientales:
- Macroeconómicas:
- 5-15

## Modelos

### Autoregresivo:

- Usamos solo los propios valores de la serie
- Se ajusta un modelo ARIMA
- No sirve en períodos de *crisis*

### Flotante:

- Medioambientales:
- Macroeconómicas:

5-15

## Modelos

### Autoregresivo:

- Usamos solo los propios valores de la serie
- Se ajusta un modelo ARIMA
- No sirve en períodos de *crisis*

### Flotante:

- Variables Predictoras:
  - Medioambientales:
  - Macroeconómicas:
- Predicción de las variables a 5-15 años

## Modelos

### Autoregresivo:

- Usamos solo los propios valores de la serie
- Se ajusta un modelo ARIMA
- No sirve en períodos de *crisis*

### Flotante:

- Variables Predictoras:

Medioambientales: Temperatura máxima y mínima

Macroeconómicas: Producto interior bruto y población activa

- Predicción de las variables a 5-15 años

## Modelos

### Autoregresivo:

- Usamos solo los propios valores de la serie
- Se ajusta un modelo ARIMA
- No sirve en períodos de *crisis*

### Flotante:

- Variables Predictoras:
  - Medioambientales: Temperatura máxima y mínima
  - Macroeconómicas: Producto interior bruto y población activa
- Predicción de las variables a 5-15 años

## Modelos

### Autoregresivo:

- Usamos solo los propios valores de la serie
- Se ajusta un modelo ARIMA
- No sirve en períodos de *crisis*

### Flotante:

- Variables Predictoras:
  - Medioambientales:** Temperatura máxima y mínima
  - Macroeconómicas:** Producto interior bruto y población activa
- Predicción de las variables a 5-15 años

# Predicción del Crecimiento Vertical III

Modelo *top-down*: Realizando la predicción agregada

## Modelos

### Autoregresivo:

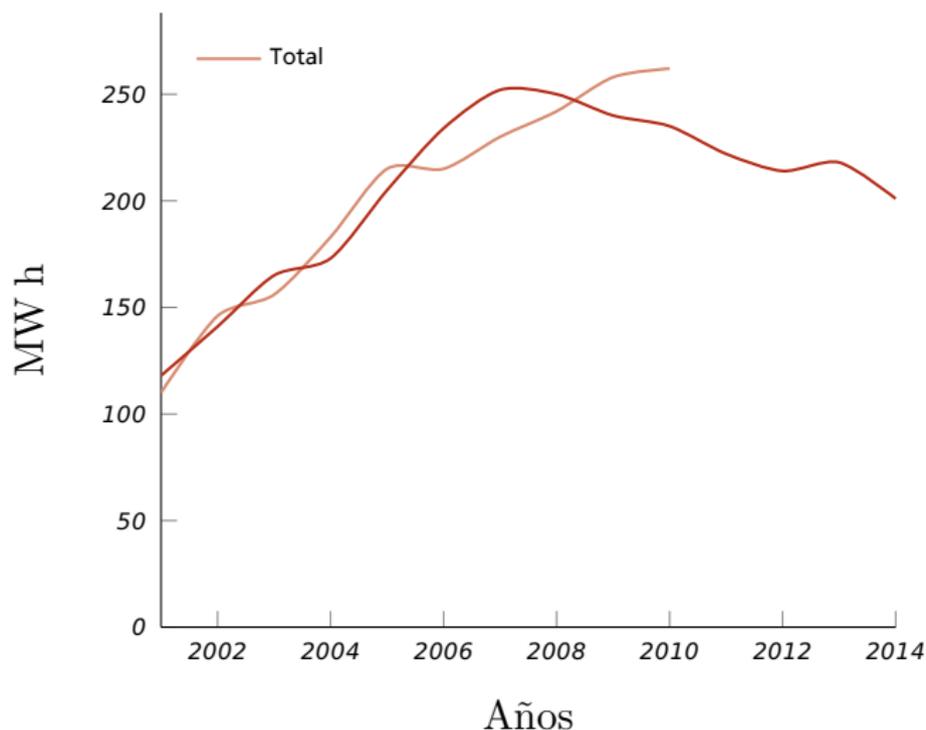
- Usamos solo los propios valores de la serie
- Se ajusta un modelo ARIMA
- No sirve en períodos de *crisis*

### Flotante:

- Variables Predictoras:
  - Medioambientales: Temperatura máxima y mínima
  - Macroeconómicas: Producto interior bruto y población activa
- Predicción de las variables a 5-15 años

# Predicción del Crecimiento Vertical IV

Modelo *top-down*: Resultado de la predicción agregada



## Modelo de Crecimiento Vertical

### Curvas desagregadas de REE:

- Publicadas en el BOE
- Basadas en estimaciones a nivel nacional

### Curvas desagregadas por tarifas:

- 
- 
-

## Modelo de Crecimiento Vertical

### Curvas desagregadas de REE:

- Publicadas en el BOE
- Basadas en estimaciones a nivel nacional

### Curvas desagregadas por tarifas:

- 
- 
-

## Modelo de Crecimiento Vertical

### Curvas desagregadas de REE:

- Publicadas en el BOE
- Basadas en estimaciones a nivel nacional

### Curvas desagregadas por tarifas:

- 
- 
-

# Predicción del Crecimiento Vertical $v$

Modelo *top-down*: Desagregando los datos

## Modelo de Crecimiento Vertical

### Curvas desagregadas de REE:

- Publicadas en el BOE
- Basadas en estimaciones a nivel nacional

### Curvas desagregadas por tarifas:

- **Hipótesis:** los clientes con la misma tarifa tienen el mismo comportamiento
- La demanda agregada se reparte entre las distintas tarifas ponderando en función de la potencia agregada de los clientes de dicha tarifa
- Existe un factor de simultaneidad que debe ser ajustado

# Predicción del Crecimiento Vertical $v$

Modelo *top-down*: Desagregando los datos

## Modelo de Crecimiento Vertical

### Curvas desagregadas de REE:

- Publicadas en el BOE
- Basadas en estimaciones a nivel nacional

### Curvas desagregadas por tarifas:

- **Hipótesis:** los clientes con la misma tarifa tienen el mismo comportamiento
- La demanda agregada se reparte entre las distintas tarifas ponderando en función de la potencia agregada de los clientes de dicha tarifa
- Existe un factor de simultaneidad que debe ser ajustado

# Predicción del Crecimiento Vertical $v$

Modelo *top-down*: Desagregando los datos

## Modelo de Crecimiento Vertical

### Curvas desagregadas de REE:

- Publicadas en el BOE
- Basadas en estimaciones a nivel nacional

### Curvas desagregadas por tarifas:

- **Hipótesis:** los clientes con la misma tarifa tienen el mismo comportamiento
- La demanda agregada se reparte entre las distintas tarifas ponderando en función de la potencia agregada de los clientes de dicha tarifa
- Existe un factor de simultaneidad que debe ser ajustado

# Predicción del Crecimiento Vertical $v$

Modelo *top-down*: Desagregando los datos

## Modelo de Crecimiento Vertical

### Curvas desagregadas de REE:

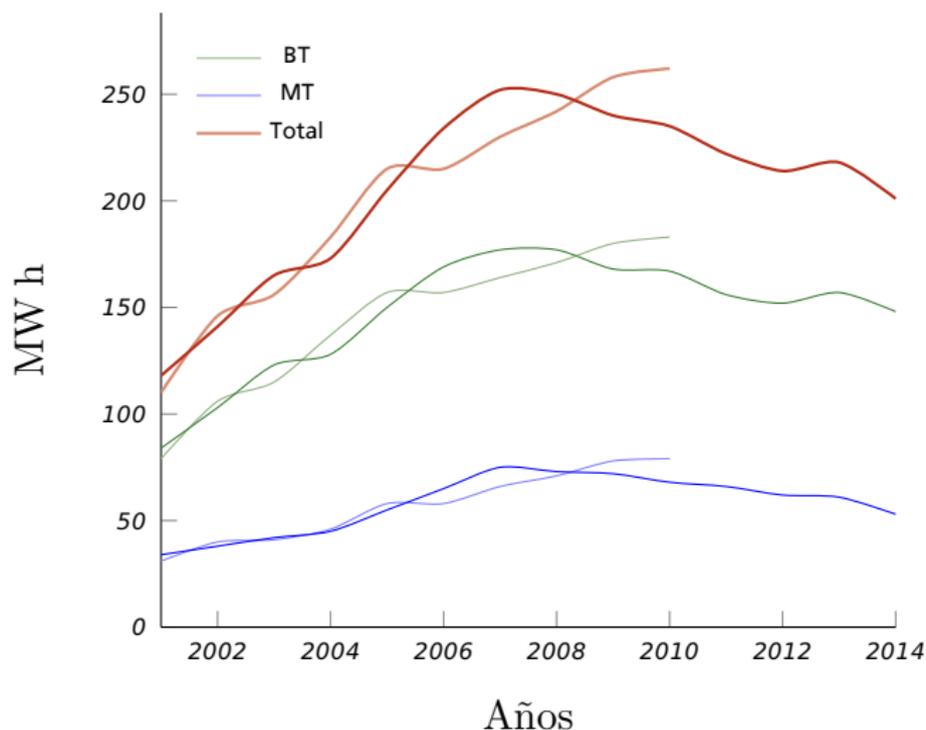
- Publicadas en el BOE
- Basadas en estimaciones a nivel nacional

### Curvas desagregadas por tarifas:

- **Hipótesis:** los clientes con la misma tarifa tienen el mismo comportamiento
- La demanda agregada se reparte entre las distintas tarifas ponderando en función de la potencia agregada de los clientes de dicha tarifa
- Existe un factor de simultaneidad que debe ser ajustado

# Predicción del Crecimiento Vertical $v_1$

Modelo *top-down*: Resultado final



- 1 ¿Cómo se transporta la electricidad?
- 2 ¿Cómo se opera un sistema eléctrico?
- 3 ¿Cómo se genera electricidad?
  - Diseño y gestión de un parque eólico
- 4 ¿Cómo se consume electricidad?
  - Predicciones Macro
  - Predicciones Micro
  - Detección de anomalías
- 5 ¿Cómo se planifica el sistema eléctrico?
  - Modelos red de transporte
  - Modelos red de distribución
    - Crecimiento Vertical
    - Crecimiento Horizontal



### Fases

- Predicción global del número de nuevos suministros y su tipo
- Predicción de la posición más probable donde se asentará cada nuevo suministro

### Modelos

#### Autoregresivo:

- Usamos solo los propios valores de la serie
- Se ajusta un modelo ARIMA
- No sirve en períodos de *crisis*

#### Flotante:



### Modelos

#### Autoregresivo:

- Usamos solo los propios valores de la serie
- Se ajusta un modelo ARIMA
- No sirve en períodos de *crisis*

#### Flotante:



### Modelos

#### Autoregresivo:

- Usamos solo los propios valores de la serie
- Se ajusta un modelo ARIMA
- No sirve en períodos de *crisis*

#### Flotante:



### Modelos

#### Autoregresivo:

- Usamos solo los propios valores de la serie
- Se ajusta un modelo ARIMA
- No sirve en períodos de *crisis*

#### Flotante:



### Modelos

#### Autoregresivo:

- Usamos solo los propios valores de la serie
- Se ajusta un modelo ARIMA
- No sirve en períodos de *crisis*

#### Flotante:

- Variables Predictoras: ¿?

### Modelos

#### Autoregresivo:

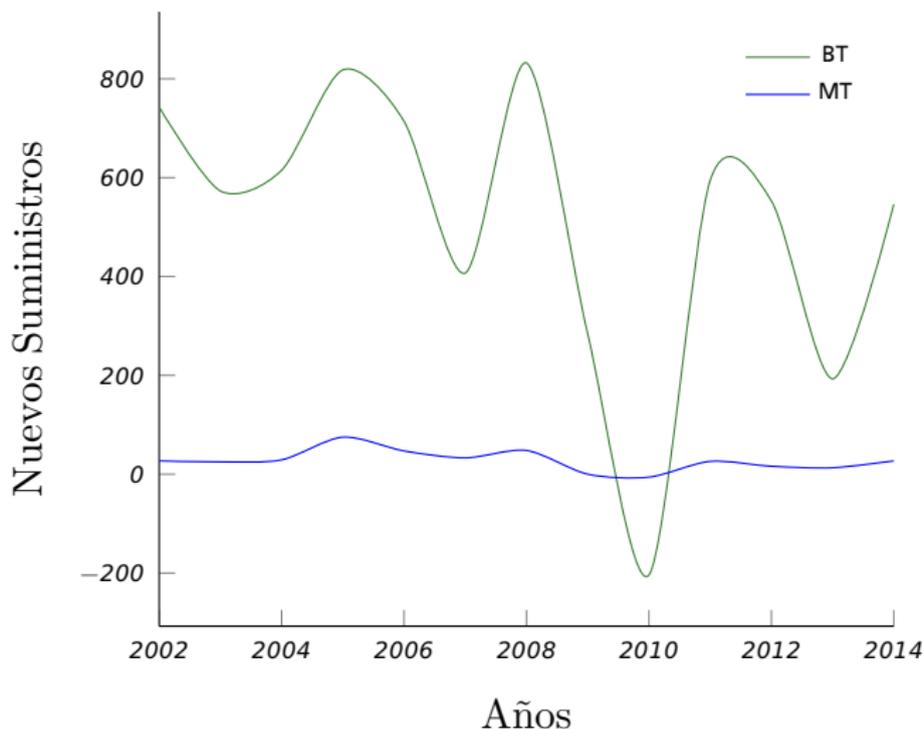
- Usamos solo los propios valores de la serie
- Se ajusta un modelo ARIMA
- No sirve en períodos de *crisis*

#### Flotante:

- Variables Predictoras: ¿?

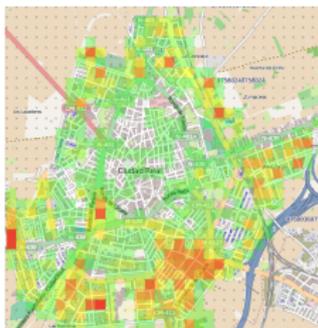
# Predicción del Crecimiento Horizontal III

Resultados predicción global



### ¿Cómo asignamos nuevos suministros a infraestructuras eléctricas?

- 1 **Identificamos las zonas urbanizables**
- 2 Asignamos cada zona a una infraestructura eléctrica
- 3 Estimamos la capacidad en dichas zonas
- 4 Calificamos cada zona
- 5 Transformamos calificación en votos
- 6 Repartimos los suministros en función de los votos

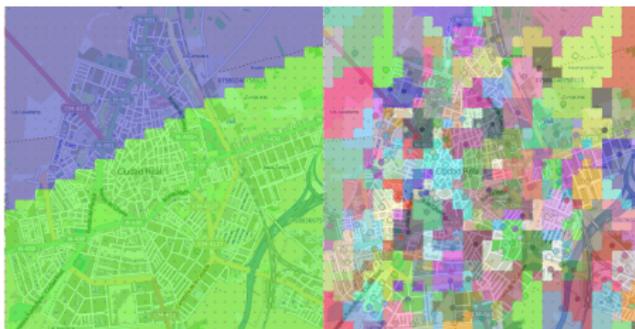


# Predicción del Crecimiento Horizontal III

## Reparto Local

¿Cómo asignamos nuevos suministros a infraestructuras eléctricas?

- 1 Identificamos las zonas urbanizables
- 2 Asignamos cada zona a una infraestructura eléctrica
- 3 Estimamos la capacidad en dichas zonas
- 4 Calificamos cada zona
- 5 Transformamos calificación en votos
- 6 Repartimos los suministros en función de los votos

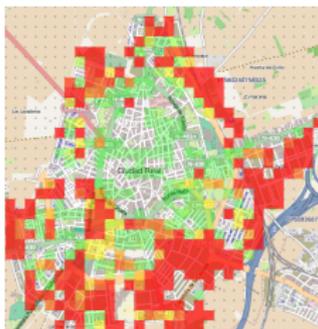


# Predicción del Crecimiento Horizontal III

## Reparto Local

¿Cómo asignamos nuevos suministros a infraestructuras eléctricas?

- 1 Identificamos las zonas urbanizables
- 2 Asignamos cada zona a una infraestructura eléctrica
- 3 Estimamos la capacidad en dichas zonas
- 4 Calificamos cada zona
- 5 Transformamos calificación en votos
- 6 Repartimos los suministros en función de los votos

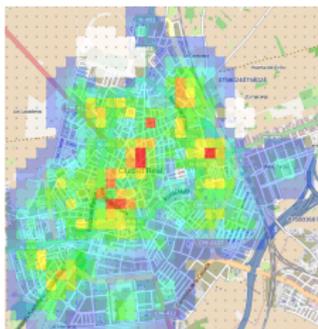


# Predicción del Crecimiento Horizontal III

## Reparto Local

¿Cómo asignamos nuevos suministros a infraestructuras eléctricas?

- 1 Identificamos las zonas urbanizables
- 2 Asignamos cada zona a una infraestructura eléctrica
- 3 Estimamos la capacidad en dichas zonas
- 4 Calificamos cada zona
- 5 Transformamos calificación en votos
- 6 Repartimos los suministros en función de los votos

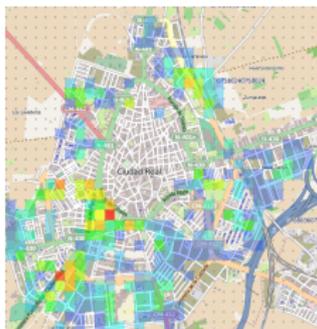


# Predicción del Crecimiento Horizontal III

## Reparto Local

¿Cómo asignamos nuevos suministros a infraestructuras eléctricas?

- 1 Identificamos las zonas urbanizables
- 2 Asignamos cada zona a una infraestructura eléctrica
- 3 Estimamos la capacidad en dichas zonas
- 4 Calificamos cada zona
- 5 Transformamos calificación en votos
- 6 Repartimos los suministros en función de los votos

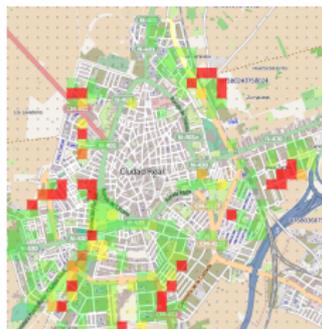


# Predicción del Crecimiento Horizontal III

## Reparto Local

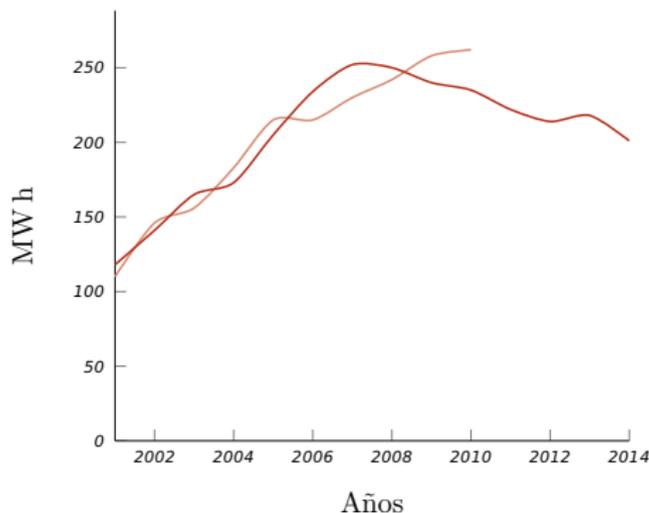
### ¿Cómo asignamos nuevos suministros a infraestructuras eléctricas?

- 1 Identificamos las zonas urbanizables
- 2 Asignamos cada zona a una infraestructura eléctrica
- 3 Estimamos la capacidad en dichas zonas
- 4 Calificamos cada zona
- 5 Transformamos calificación en votos
- 6 Repartimos los suministros en función de los votos



### ¿Cómo se valida un modelo geoespacial?

**Efectiva:** Diferencia entre los suministros asignados a cada infraestructura eléctrica y los que realmente tuvo



### ¿Cómo se valida un modelo geoespacial?

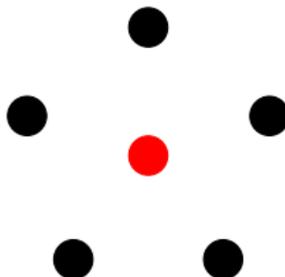
**Vectorial:** Distancia entre los las posiciones reales y asignadas

- Depende de como se haga el emparejamiento
- Qué se hace con los desemparejados

### ¿Cómo se valida un modelo geoespacial?

**Vectorial:** Distancia entre los las posiciones reales y asignadas

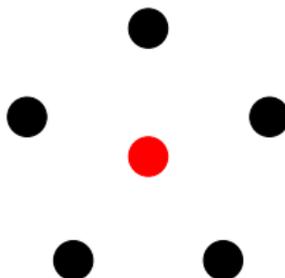
- Depende de como se haga el emparejamiento
- Qué se hace con los desemparejados



### ¿Cómo se valida un modelo geoespacial?

**Vectorial:** Distancia entre los las posiciones reales y asignadas

- Depende de como se haga el emparejamiento
- Qué se hace con los desemparejados



### ¿Cómo se valida un modelo geoespacial?

**Matricial:** Se *tesela* el espacio y se calcula la diferencia entre el número de suministros asignado a cada tesela y el real

- Depende de la forma y centro de la *tesela*
- No tiene en cuenta que errores cercanos son más aceptables que los errores lejanos

### ¿Cómo se valida un modelo geoespacial?

**Matricial:** Se *tesela* el espacio y se calcula la diferencia entre el número de suministros asignado a cada tesela y el real

- Depende de la forma y centro de la *tesela*
- No tiene en cuenta que errores cercanos son más aceptables que los errores lejanos

### ¿Cómo se valida un modelo geoespacial?

**Matricial:** Se *tesela* el espacio y se calcula la diferencia entre el número de suministros asignado a cada tesela y el real

- Depende de la forma y centro de la *tesela*
- No tiene en cuenta que errores cercanos son más aceptables que los errores lejanos

1	1	1	0
1	5	1	0
1	1	1	0
0	0	0	0

### ¿Cómo se valida un modelo geoespacial?

**Matricial:** Se *tesela* el espacio y se calcula la diferencia entre el número de suministros asignado a cada tesela y el real

- Depende de la forma y centro de la *tesela*
- No tiene en cuenta que errores cercanos son más aceptables que los errores lejanos

1	1	1	0
1	5	1	0
1	1	1	0
0	0	0	0

1	1	1	0
1	2	3	0
1	1	1	0
0	0	0	0

### ¿Cómo se valida un modelo geoespacial?

**Matricial:** Se *tesela* el espacio y se calcula la diferencia entre el número de suministros asignado a cada tesela y el real

- Depende de la forma y centro de la *tesela*
- No tiene en cuenta que errores cercanos son más aceptables que los errores lejanos

1	1	1	0
1	5	1	0
1	1	1	0
0	0	0	0

1	1	1	0
1	2	3	0
1	1	1	0
0	0	0	0

1	1	1	0
1	1	1	0
1	1	1	0
0	0	0	4

## Planificación:

- Diseñar un mecanismo de validación de modelos espaciales
- Estudiar sus propiedades matemáticas
- Validar modelos de crecimiento urbano



## Planificación:

- Diseñar un mecanismo de validación de modelos espaciales
  - Estudiar sus propiedades matemáticas
  - Validar modelos de crecimiento urbano



## Planificación:

- Diseñar un mecanismo de validación de modelos espaciales
- Estudiar sus propiedades matemáticas
- Validar modelos de crecimiento urbano



## Planificación:

- Diseñar un mecanismo de validación de modelos espaciales
- Estudiar sus propiedades matemáticas
- Validar modelos de crecimiento urbano

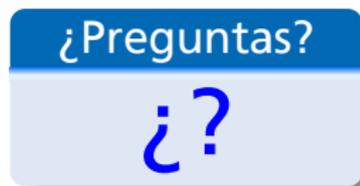


- Hay muchos problemas muy interesantes por resolver
- Hay mucho trabajo para los matemáticos e informáticos



- Hay muchos problemas muy interesantes por resolver
- Hay mucho trabajo para los matemáticos e informáticos





# Retos matemáticos en las redes eléctricas inteligentes

Cruz Enrique Borges Hernández

`cruz.borges@deusto.es`



Ciclo de Talleres «Matemáticas en Acción» 2012-2013



This work is licensed under the *Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 License*.