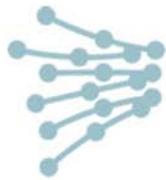




RED ELÉCTRICA  
DE ESPAÑA

**La red eléctrica de alta tensión: Ahorro y  
seguridad**

Julio 2007



## Índice

Conceptos básicos

Ahorro y eficiencia

Seguridad de suministro

- Grandes incidentes

Conclusiones



### Conceptos básicos

- ❑ **Energía eléctrica.  $P = \text{Tensión (V)} * \text{Intensidad(I)}$ .**

Para transportar la misma energía, con tensiones altas las intensidades serán menores.

- ❑ **Perdidas de transporte = Resistencia (R) \* Intensidad (I) \*\*2**

Si disminuimos la Intensidad, las pérdidas por transporte disminuyen de forma cuadrática.

Por eso se transporta a tensiones muy altas

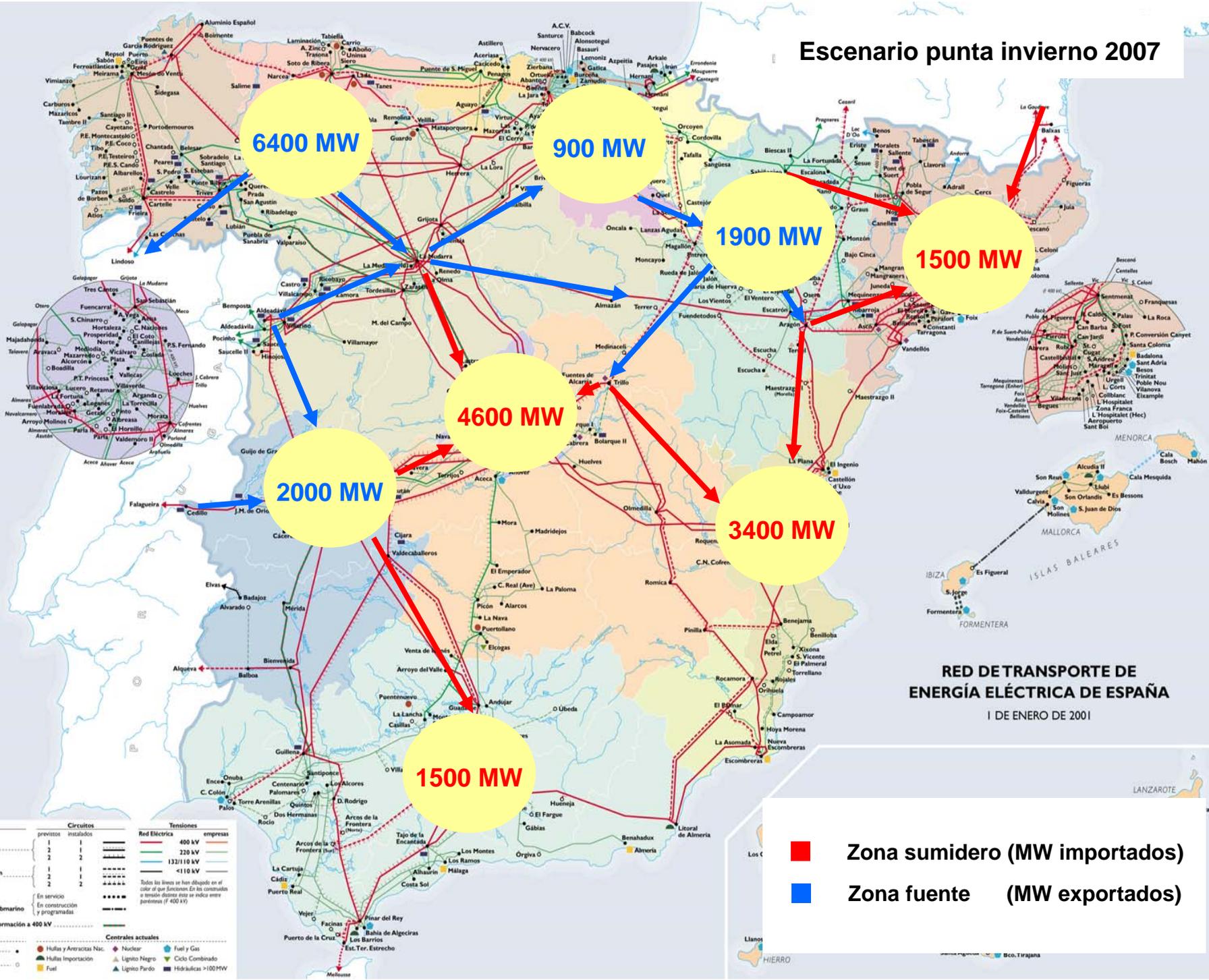
- ❑ **Las pérdidas totales de la red eléctrica española oscilan alrededor de 1,5%, según se distribuya la generación y la demanda.**



### Conceptos básicos. Otras ventajas

- ❑ **Permite el intercambio instantáneo de energía entre dos puntos conectados a la red.**
- ❑ **En muchas ocasiones el intercambio provoca un transporte virtual de la energía, que puede llegar a ahorrar pérdidas.**
- ❑ **Por tanto, una buena red eléctrica de alta tensión permite optimizar el perfil de generación, ahorrando energía, costes al sistema eléctrico y emisiones de gases de efecto invernadero.**

# Escenario punta invierno 2007



**RED DE TRANSPORTE DE ENERGÍA ELÉCTRICA DE ESPAÑA**  
I DE ENERO DE 2001

**■ Zona sumidero (MW importados)**  
**■ Zona fuente (MW exportados)**

Líneas		Circuitos		Tensiones	
	previsos	instalados	Red Eléctrica	empresas	
En servicio	1	1	400 kV	220 kV	132/110 kV
En construcción y programadas	2	2	132/110 kV	110 kV	
	1	1			
	2	2			

*Todos las líneas se han dibujado en el color de sus tensiones. En las construidas o tensiones distintas entre se indica entre paréntesis (F 400 kV)*

Subestaciones		Centrales actuales	
	previsos	instalados	
En servicio	1	1	Hullas y Antracitas Nac.
En construcción y programadas	2	2	Nuclear
	1	1	Líquido Negro
	2	2	Líquido Pardo
	1	1	Fuel y Gas
	2	2	Ciclo Combinado
	1	1	Hidráulicas > 100 MW

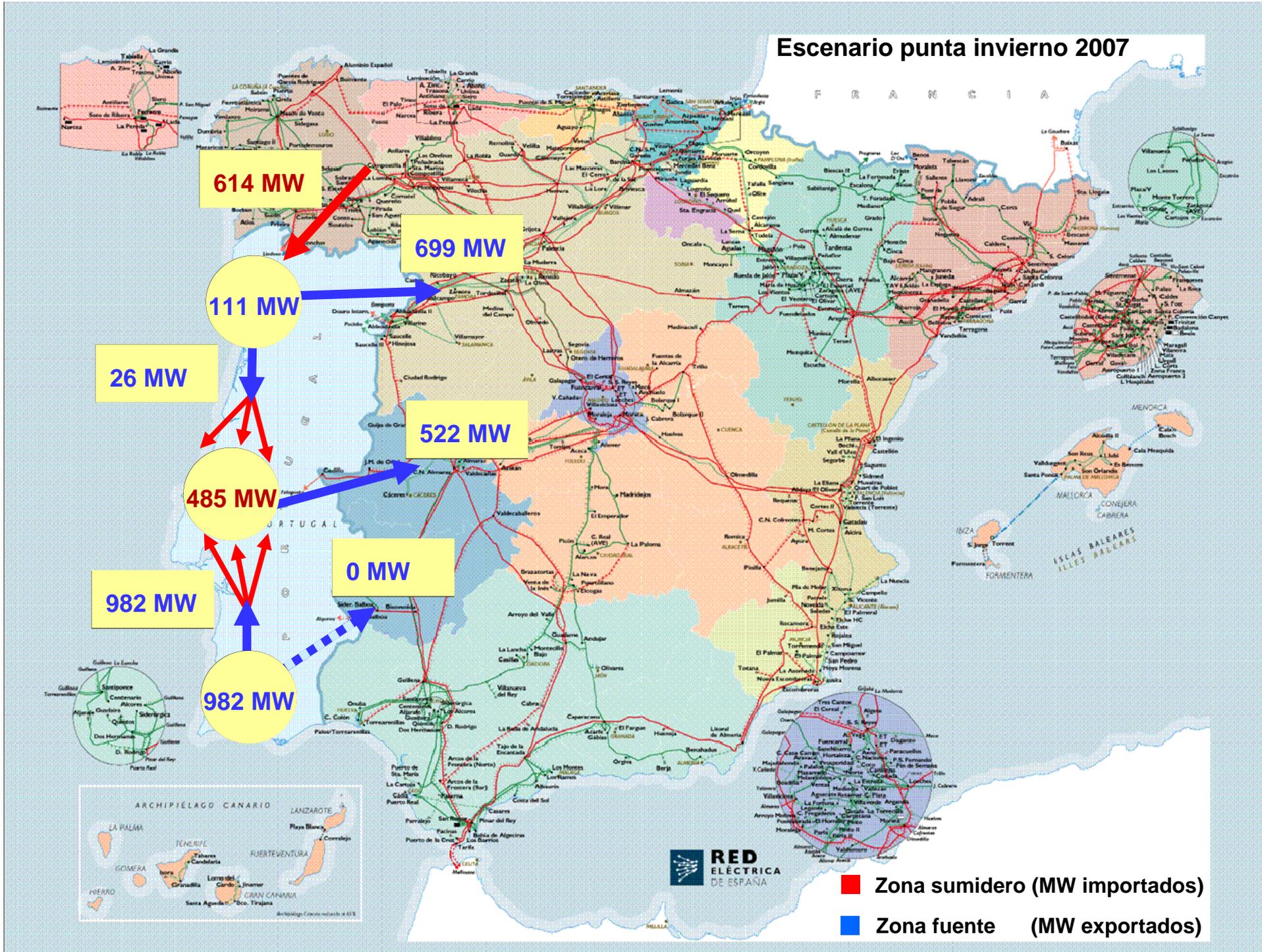


## Consumo en RdT (400 y 220 kV) y Portugal (REN) Influencia L 400 kV Mudarra-SS Reyes

ÁREA	Consumo RdT y REN con L-400 kV MUD-SSR acoplada	Consumo RdT y REN con L-400 kV MUD-SSR desacoplada
NOROESTE	84 MW	86 MW
NORTE	183 MW	204 MW
ARAGÓN	36 MW	40 MW
CATALUÑA	77 MW	77 MW
ANDALUCIA	142 MW	144 MW
MADRID	154 MW	159 MW
RESTO zona CENTRO	34 MW	42 MW
LEVANTE	91 MW	94 MW
P	64 MW	66 MW
	13 MW	14 MW
	22 MW	24 MW
TOTAL	900 MW	950 MW

Ahorro = 50 MW

# Escenario punta invierno 2007



614 MW

699 MW

111 MW

26 MW

522 MW

485 MW

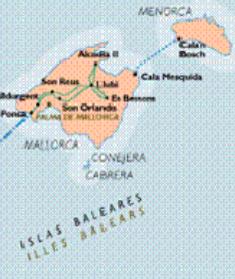
0 MW

982 MW

982 MW

■ Zona sumidero (MW importados)

■ Zona fuente (MW exportados)





## Consumo en RdT (400 y 220 kV) y Portugal (REN) Influencia L-400 kV Brovales-T Alqueva

ÁREA	Consumo RdT y REN con L-400 kV Brovales-T Alqueva acoplada	Consumo RdT y REN con L-400 kV Brovales-T Alqueva desacoplada
NOROESTE	84 MW	89 MW
NORTE	183 MW	201 MW
ARAGÓN	36 MW	38 MW
CATALUÑA	77 MW	77 MW
ANDALUCIA	142 MW	151 MW
MADRID	154 MW	169 MW
RESTO zona CENTRO	34 MW	54 MW
EVANT	91 MW	95 MW
Por	64 MW	59 MW
	13 MW	23 MW
	22 MW	15 MW
TOTAL	900 MW	971 MW

**Ahorro = 71 MW**



RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA

## **SEGURIDAD DE SUMINISTRO**



### Seguridad del Suministro

- ✓ Europa ha disfrutado de un suministro seguro de electricidad durante décadas. Interrupciones de suministro de mayor o menor importancia, han sucedido, aunque la fiabilidad de suministro ha sido muy alta.
- ✓ La sociedad es mucho más sensible a los cortes de suministro, lo que puede llevar a una percepción de empeoramiento de la calidad, que no se corresponde con los valores reales de los índices TIEPI y NIEPI.
- ✓ Sin embargo los incidentes ocurridos en los últimos años en Europa y Estados Unidos ponen de manifiesto la importancia creciente de la seguridad del suministro.
- ✓ Las interrupciones de suministro pueden afectar a otras infraestructuras, (sistemas de comunicación, sistemas de transporte, suministro de agua....) y ponen de manifiesto lo vulnerable que es nuestra sociedad a las interrupciones de suministro, y por tanto la necesidad de mejorar la seguridad del suministro.
- ✓ Si las interrupciones de suministro son repetidas, afectan de forma dramática a la economía del país.
- ✓ Analizaremos, a través de algunos de los más importantes incidentes, sus causas y sus consecuencias, y por tanto la necesidad creciente de mejorar la fiabilidad del suministro de energía eléctrica.



## RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA

**1**

**Nueva York 1977**

**2**

**Dinamarca- sur de Suecia 2003**

**3**

**Costa este de Estados Unidos 2003**

**4**

**Italia 2003**

**5**

**Alemania 2006**

**6**

**Conclusiones**

1

**Nueva York 1977**



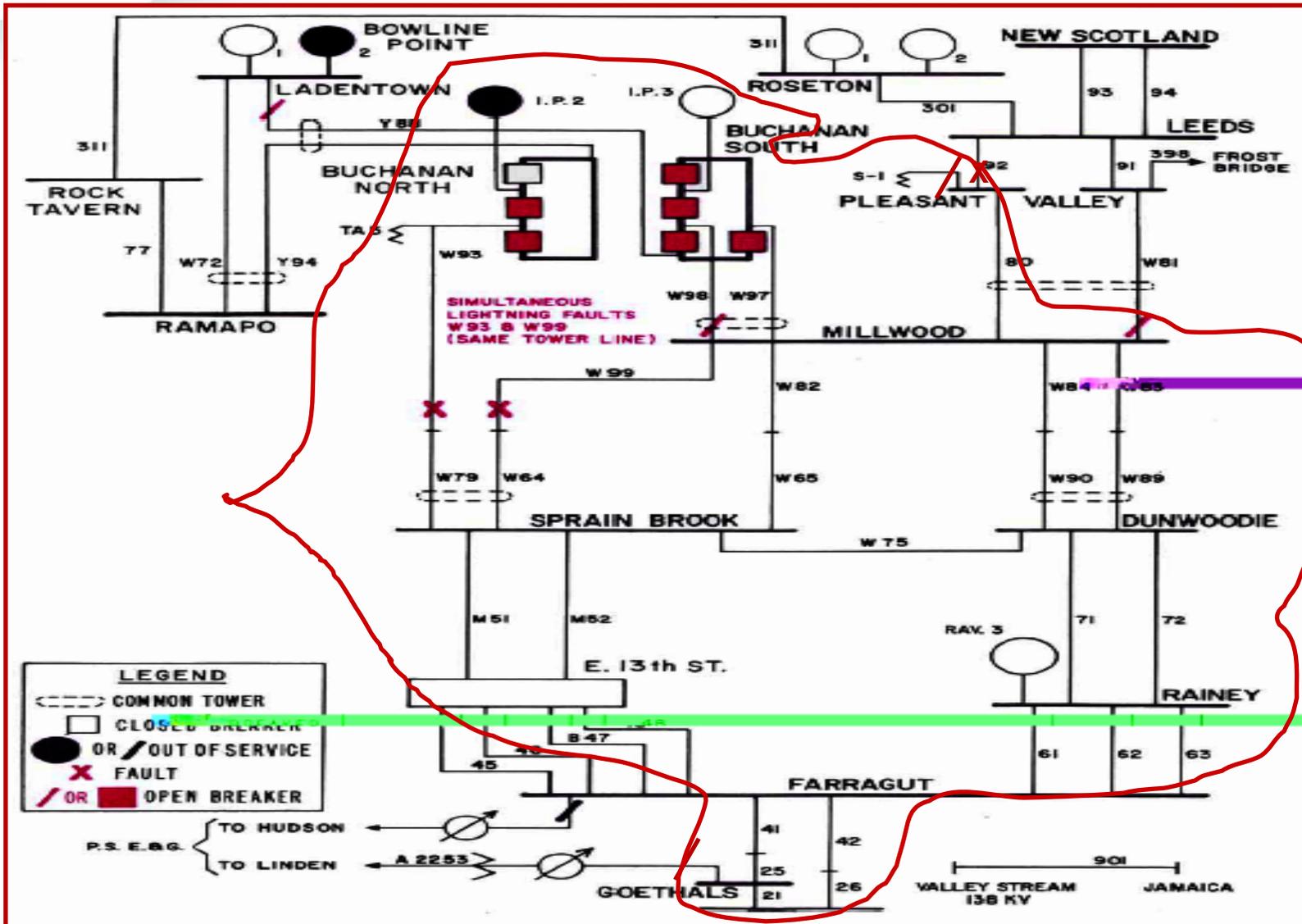
### Nueva York 1977. Descripción del Incidente

- ✓ Con anterioridad a las **20:37**:
  - Demanda 5.689 MW, importación 2.860 MW, reserva total 1.998 MW, reserva sincronizada 1.208 MW. Área afectada. Manhattan, The Bronx, Broolyn, Staten Island, la mayor parte de Queens and Westchester County.
- ✓ **20:37** Por descargas atmosféricas se pierden dos líneas de 345 kV., que comparten apoyos, y la unidad de generación de Indian Point 3.
- ✓ **20:55** Nuevas descargas atmosféricas provocan la pérdida de otra línea de 345 kV. Adicionalmente una línea de 345 kV se pierde a consecuencia de la actuación intempestiva de una protección.
- ✓ **21:19** La última línea de interconexión del área de Nueva York con la zona norte, donde se encuentra la generación, se pierde por una falta. Se produce la sobrecarga de unidades de transformación y las líneas de 138 kV que quedan sobrecargadas
- ✓ **21:29** Se pierde la transformación y los circuitos de 138 kV que conectaba la zona de Nueva York con el resto del sistema (Nueva Jersey). La zona de Nueva York queda en isla. Adicionalmente se pierde la unidad de generación de Ravenswood 3.
- ✓ **21:36** El sistema colapsa debido a desbalance entre generación y demanda.



# RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA

## Nueva York 1977. Área afectada



Esquema simplificado del sistema de 345 kV. Fuente Consolidated Edison



## **Nueva York 1977. Consecuencias**

- **9 .000.000 de personas afectadas por el corte en plena ola de calor.**
- **6.000 MW de demanda**
- **Interrupciones de suministro de hasta 26 horas.**
- **Interrupción del servicio ferroviario, 75.000 usuarios afectados.**
- **Los aeropuertos fueron cerrados**
- **Pérdidas directas estimadas de 55 millones de \$ e indirectas de 290 millones de \$**
- **Importantes incidentes, 1.037 incendios, 2.941 arrestos, 70.680 llamadas al teléfono de emergencia**

2

**Dinamarca-sur de Suecia  
2003**



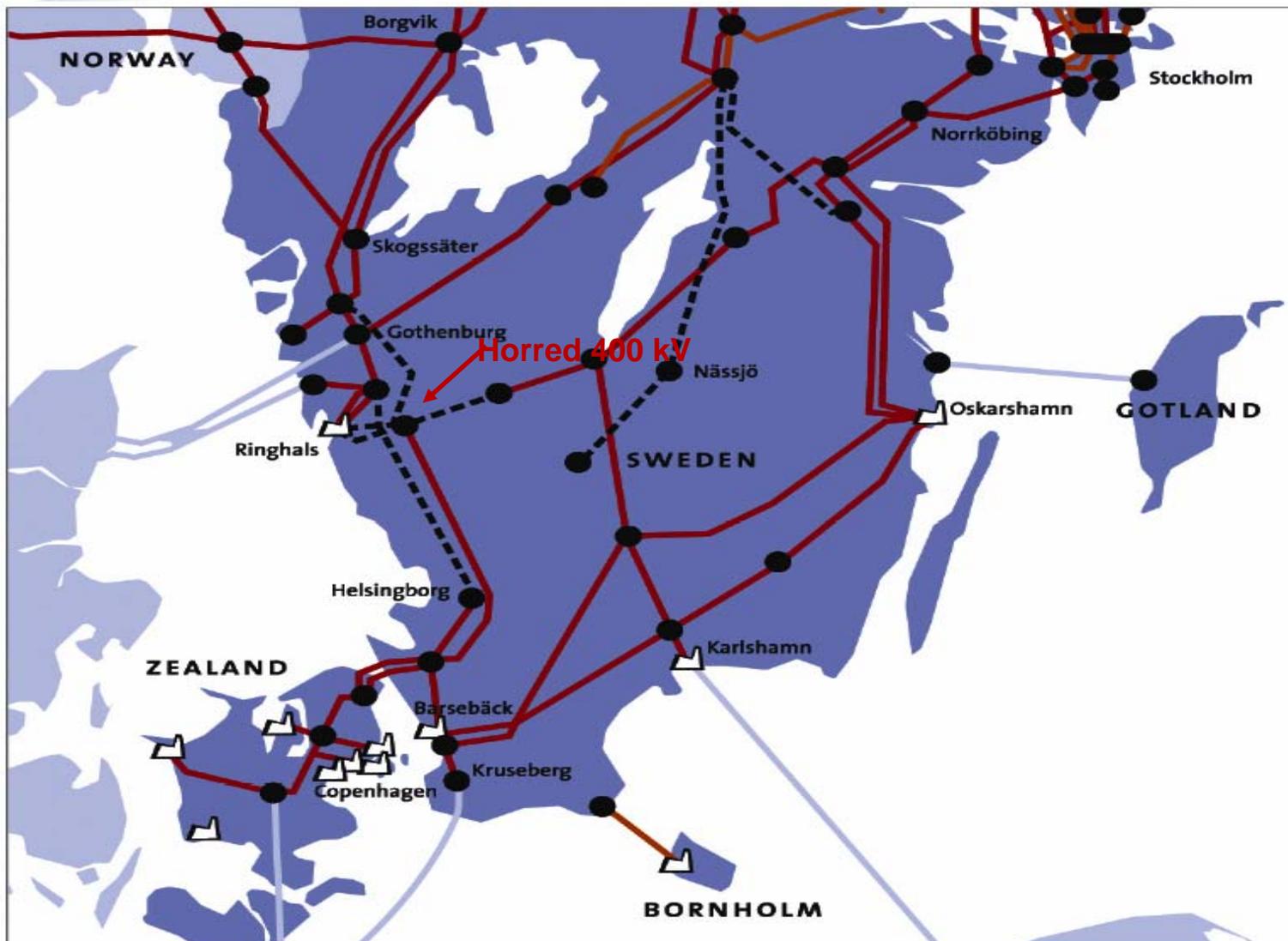
### **Dinamarca-Sur Suecia 2003. Descripción del incidente**

- ✓ Con anterioridad al incidente, un número importante de líneas fuera de servicio por mantenimiento y 4 plantas nucleares fuera de servicio.
- ✓ **12:30** Pérdida de la central nuclear de Oskarshamn con una producción de 1.176 MW debido a un problema en el circuito de refrigeración. Esta contingencia origina un mayor flujo hacia el sur para alimentar la demanda.
- ✓ **12:35** se produce una falta en una subestación de Horred 400 kV, perdiéndose 4 líneas de 400 kV de las 5 líneas que interconectan la parte central de Suecia con el Sur, y dos que conecta 2 centrales nucleares con el sistema (Ringhalds 3+4) con una pérdida de producción de 1.800 MW
- ✓ **12:35-12:37** El resto de las líneas desde la zona central a la zona sur se sobrecargan y se produce una caída de tensión en la zona sur de Suecia. Debido a la falta de generación en la zona sur y el fuerte flujo norte-sur, la frecuencia cae hasta los 49 Hz. y se produce un colapso de tensión.
- ✓ **12:37** Se forma una isla con la parte sur de Suecia y la zona este de Dinamarca con tensiones bajas y un déficit importante de generación. En segundos se produce la desconexión de la generación debido a las condiciones de frecuencia y tensión y el sistema colapsa rápidamente.



## RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA

### Dinamarca-Suecia 2003. Área afectada



Fuente Elkraft. La líneas discontinuas son las líneas que se dispararon originando el incidente



### **Dinamarca-Suecia 2003. Consecuencias**

- **2.400.000 de personas afectadas en el este de Dinamarca y 1.800.000 en la zona sur de Suecia.**
- **4.500 MW de demanda pérdida en Suecia y 1.900 MW en Dinamarca**
- **Interrupciones de suministro de hasta 7 horas.**
- **Interrupción del servicio ferroviario en el sur de Suecia y del metro en Copenhague. Los pasajeros tuvieron que ser evacuados por los túneles.**
- **El aeropuerto de Copenhague fue cerrado temporalmente.**
- **Caos circulatorio en las ciudades más importante por la falta de suministro a los semáforos.**

3

# Costa este de Estados Unidos 2003



### Costa este de Estados Unidos 2003. Descripción

**14:02:00 -16:06:00 EDT:** Se inician los problemas en la red de transporte de Ohio con la desconexión de 5 líneas de 345 kV por falta o actuación intempestiva de protecciones.

**16:08:58 EDT:** Los problemas se trasladan a Michigan perdiendo dos líneas de 345 kV que interconectaban el sur y oeste de Ohio con el Norte de Michigan. Se pierde la central de Kinder Morgan con 500 MW en Michigan.

**16:10:04-16:04:45 EDT** Aparecen problemas en las centrales del lago Eire. Se desconectan 20 centrales con una potencia instalada de 2.174 MW.

**16:10:37 EDT** Desconexión de las líneas de 345 kV entre el Oeste y el Este de Michigan. Tras esta desconexión, el Este de Michigan sólo permanecía conectado con el Norte de Ohio y Ontario.

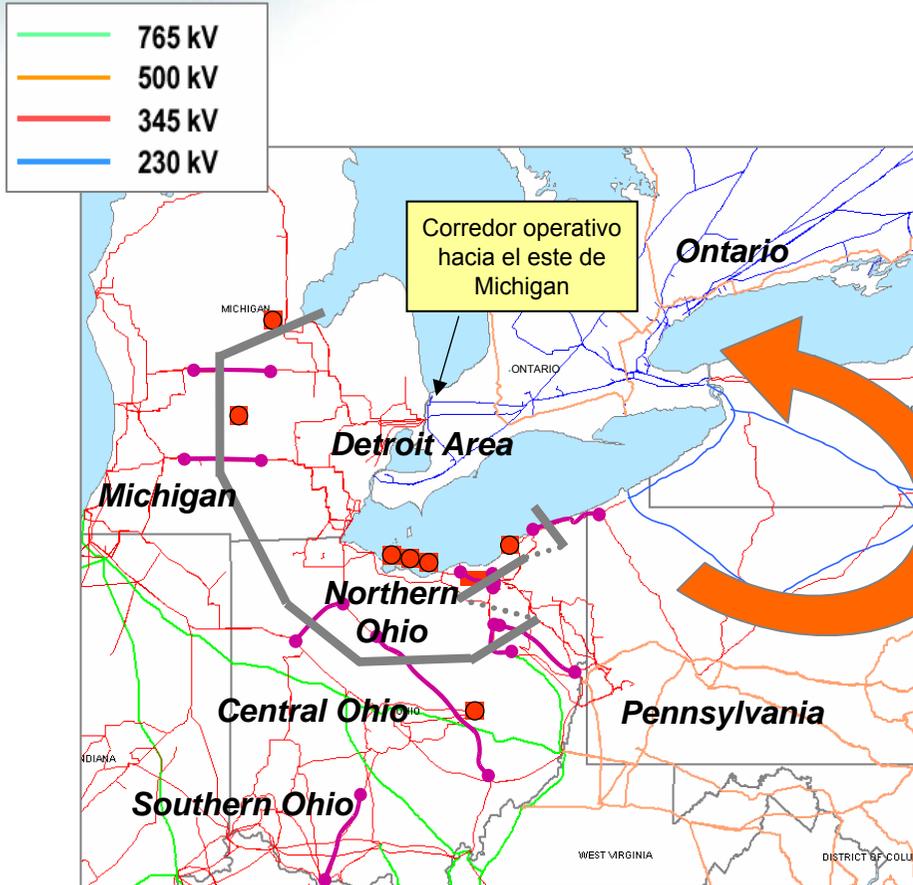
**16:10:38 EDT** Desconexión de la línea de 345 kV Perry-Ashtabula-Eire West. La desconexión de la línea de 345 kV Perry-Ashtabula-Eire West supuso que la única conexión del Este de Michigan y del norte de Ohio con el resto de la Eastern Interconnection fuese a través de la interconexión de Michigan con Ontario.

*La desconexión de las líneas de transporte a lo largo del Lago Eire, hizo el flujo de energía que circulaba a través de las mismas cambiarse de dirección y se formase un gigantesco "loop" desde Pennsylvania a Nueva York, de allí a Michigan a través de Ontario*



## RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA

### Costa este de Estados Unidos 2003. Descripción



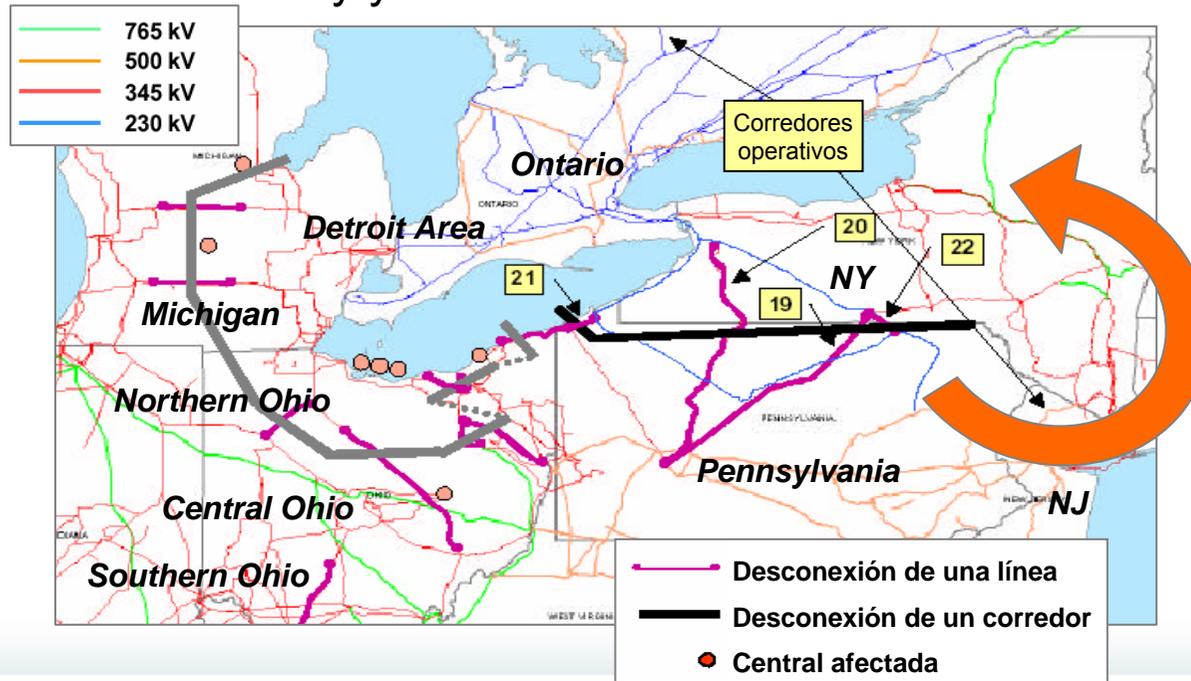
A partir de este momento el problema que había afectado únicamente al **Midwest** comienza a transmitirse al resto de sistemas y afecta a **Pennsylvania**, a **New York** y a la zona bajo el control de **New England ISO**, en Estados Unidos, y a las provincias de **Ontario** y **Québec** en Canadá



## RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA

### Costa este de Estados Unidos 2003. Descripción

**16:10:40-16:10:44 EDT:** Como consecuencia del gigantesco “loop” de energía, se produjo la desconexión, en 4 segundos, de 4 líneas de transporte que aislaron los sistemas de Pennsylvania y New York. . Tras la desconexión de estas cuatro líneas, la parte norte de la Eastern Interconnection permanecía conectada al resto del sistema únicamente a través de dos corredores. El del oeste: a través de una línea de 230 kV entre Ontario, Manitoba y Minnesota. El del este: a través de la interconexión entre New Jersey y New York





### Costa este de Estados Unidos 2003. Descripción

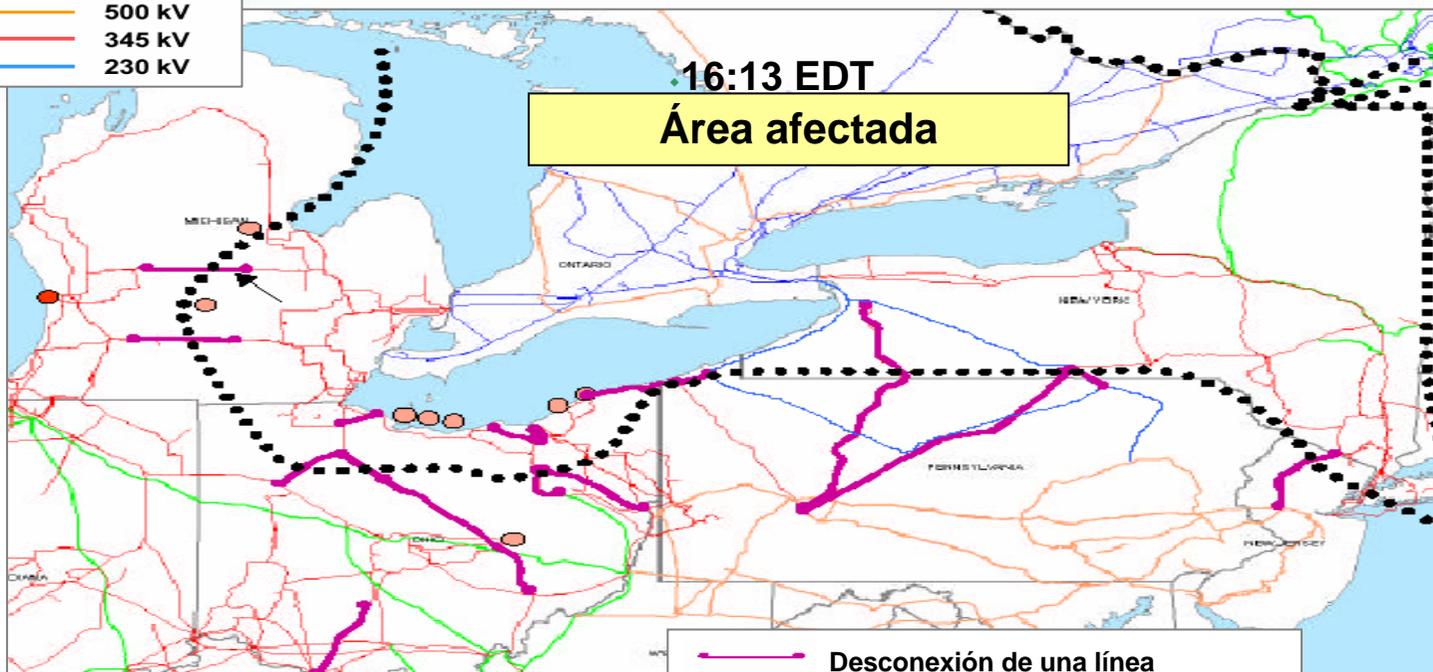
**16:10:45 EDT** Se producen nuevas desconexiones de líneas de 230 y 500 kV por lo que “Eastern Interconnection” queda dividida en dos zonas por una línea que separaba New York, el norte de New Jersey, la zona controlada por New England ISO, el este de Michigan, la mayor parte de Ontario y Québec del resto de la interconexión que no se vio afectada.

**16:10:50-16:10:57 EDT** Desconexión de las líneas de transporte entre New York, Michigan y Ontario y New quedando la mayor parte de la costa este de Estados Unidos sin suministro eléctrico en poco más de seis minutos.

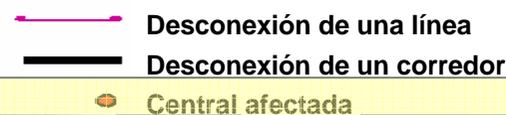


# RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA

## Costa este de Estados Unidos 2003. Área afectada



16:13 EDT  
Área afectada



### Alcance del incidente visto desde satélite

Fuente: Defense Meteorological Satellite Program. National Oceanic and Atmospheric Administration.



13 de agosto (21:21h)



14 de agosto (21:03h)



### **Costa este de Estados Unidos 2003. Consecuencias**

- Ocho estados fueron afectados en lo que se considera la mayor interrupción de suministro eléctrico en Estados Unidos.
- Se vieron afectadas 57.740 Km. de líneas de alta tensión y 290 unidades de generación
- 50.000.000 de personas se vieron afectadas por el incidente.
- La demanda afectada fue de 70.500 MW
- Pérdidas económicas valoradas entre lo 6.000 y 30.000 millones de dólares

4

**Italia 2003**



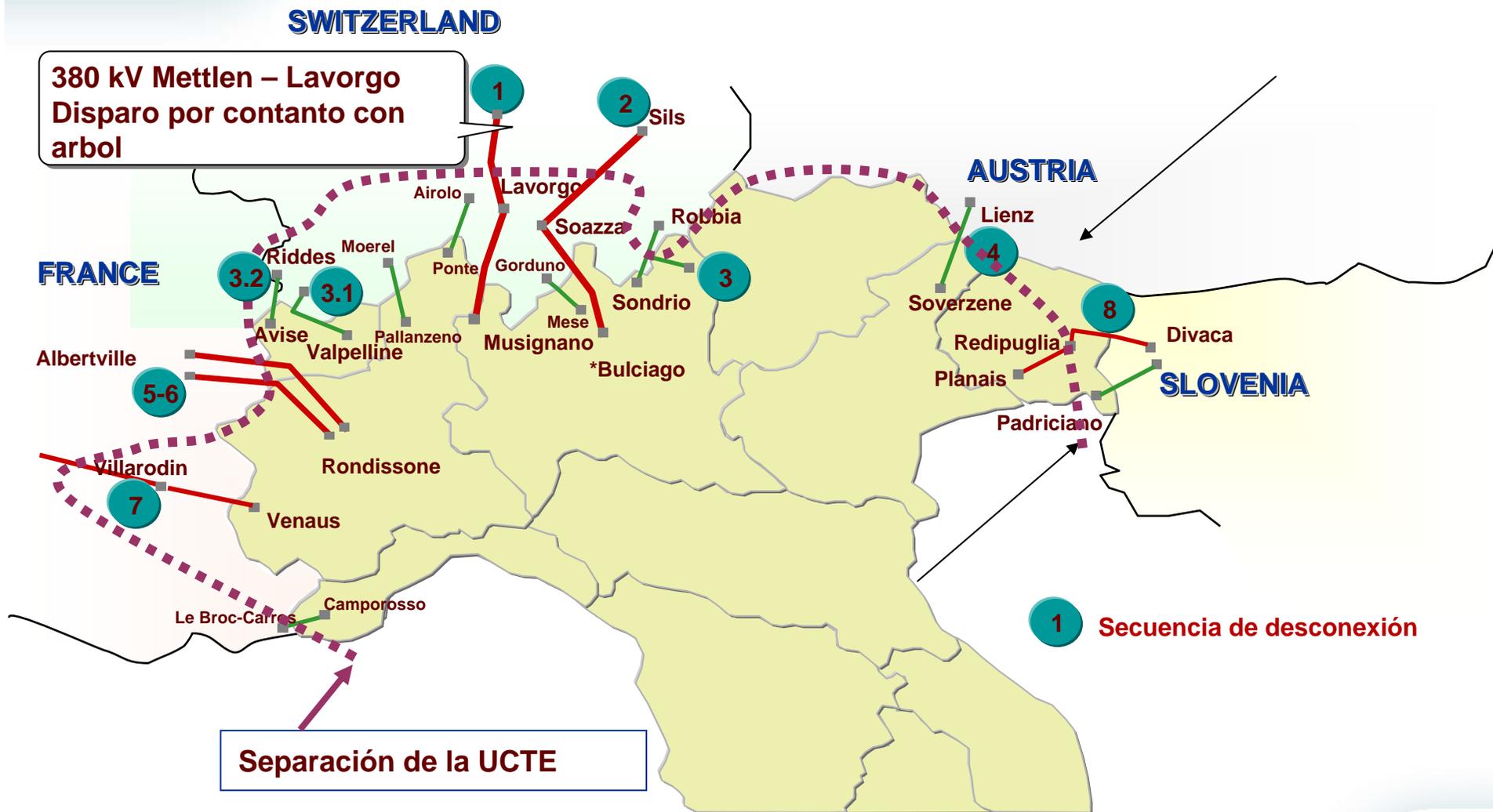
### Italia 2003. Descripción

- 03:00** Situación estable de operación. Italia se encuentra importando 6.3 GW 25% de la demanda total del sistema, 300 MW que el intercambio programado.
- 3:01** Pérdida de la línea Mettlen-Lavorgo 380 kV por contacto en un árbol. Falló del reenganche debido a la elevada diferencia angular (42 grados). Sobrecarga de la línea Sils-Soaza 380 kV.
- 3:11** ETRANS solicita a GRTN reducir la importación en 300 MW
- 3:21** GRTN reduce la importación en 300 MW
- 3:25** La línea Sils-Soazza se desconecta por contacto con un árbol. El sistema Italiano pierde sincronismo con el resto de la UCTE desconectándose el resto de la líneas de interconexión.
- 3:27** Las unidades de generación se empiezan a desconectar debido a las condiciones de tensión y frecuencia en el sistema. Se produce el apagón total de Italia con excepción de Cerdeña.



# RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA

## Italia 2003. Descripción





### **Italia 2003. Descripción**

- **Toda la península Italiana y Sicilia sin suministro eléctrico.**
- **Afectación a 57.000.000 millones de personas.**
- **110 trenes quedaron detenidos.**
- **La red de metro de Roma y Milán paralizada.**
- **Aeropuertos cerrados temporalmente.**
- **Interrupción del suministro de agua potable por 12 horas principalmente en el sur de Italia.**

5

**Alemania 2006**



### Incidente Alemania 2006. Descripción

**21:38** Situación estable de operación. EoN Netz realiza la maniobra prevista de apertura del doble circuito 380 kV Diele-Conneforde sobre el río Ems.

**21:39** Sobrecarga del circuito 380 kV Ladesbergen-Wehrendorf que interconecta los sistemas de RWE y EoN.

**22:10** EoN decide acoplar barras en la subestación de Landesbergen de 380 para reducir las sobrecargas existentes.

**22:10:13-22:11:29** Esta maniobra produce el efecto contrario, y se pierde la línea 380 kV Ladesbergen-Wehrendorf lo que origina la pérdida en cascada de 29 líneas de 220 y 380 KV.

**22:12** El sistema UCTE queda dividido en tres islas asíncronas. Una isla está formada por la parte oeste de Alemania, Holanda, Luxemburgo, Bélgica, Francia, España, Portugal, Suiza, Italia, la parte oeste de Austria y Eslovenia. La segunda isla queda constituida por la parte este de Alemania, Polonia, República Checa, Eslovaquia, Hungría y la parte este de Austria. En la tercera isla se encuentran todos los países que están en el sudeste de Europa.

Conneforde - Diele

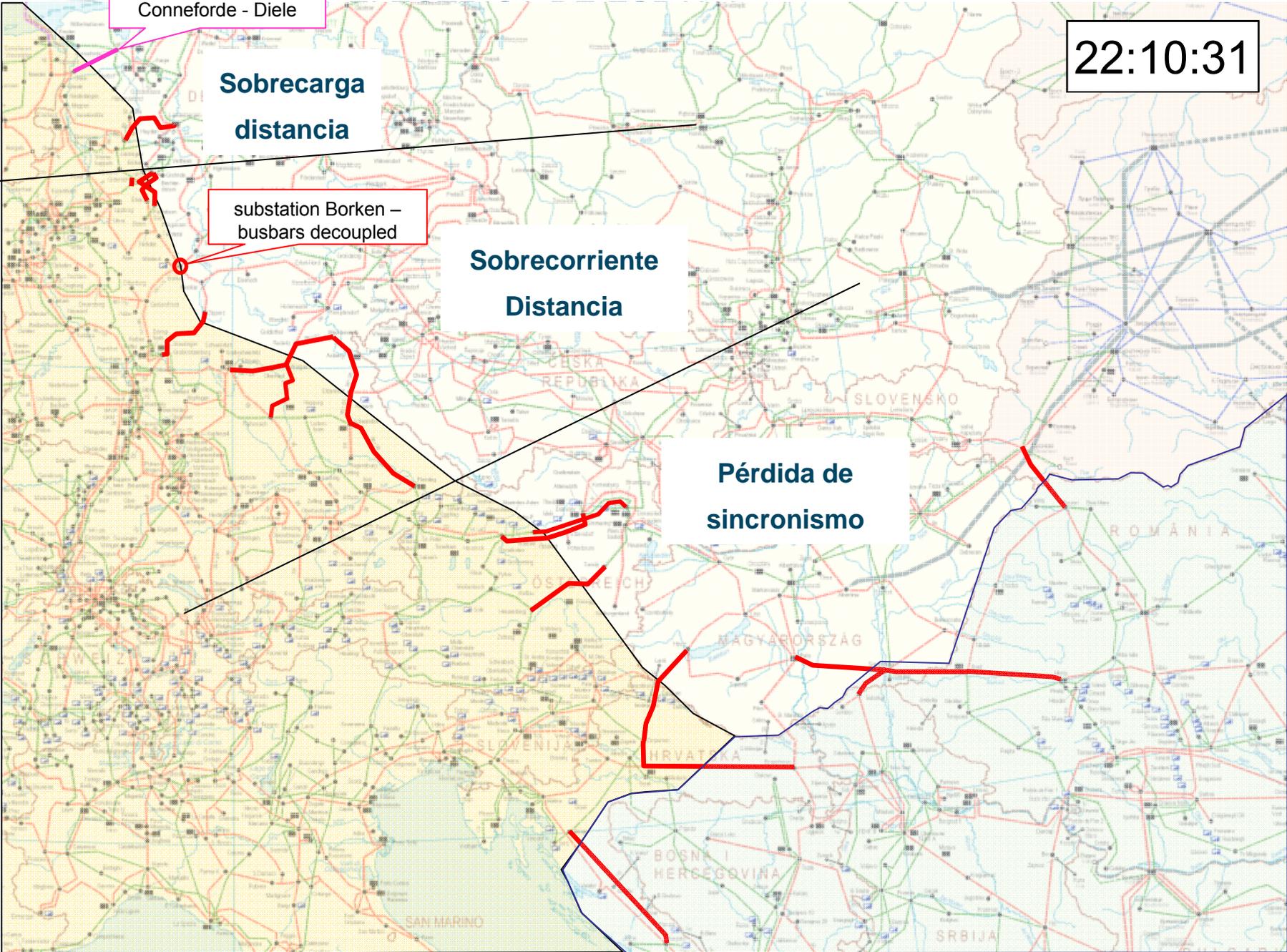
22:10:31

**Sobrecarga  
distancia**

substation Borken –  
busbars decoupled

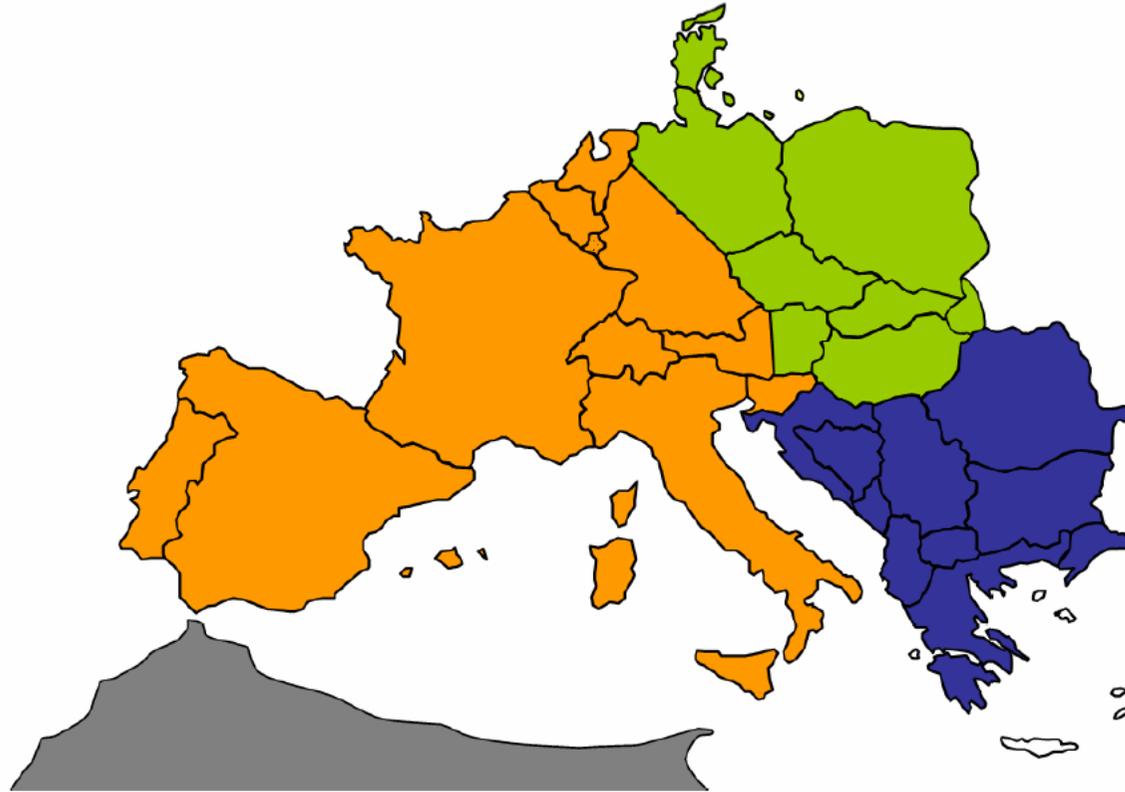
**Sobrecorriente  
Distancia**

**Pérdida de  
sincronismo**





## Incidente Alemania 2006. Área afectada



División en tres islas del sistema UCTE. Fuente UCTE



### **Incidente Alemania 2006. Consecuencias**

- **15.000.000 de clientes afectados por el corte de suministro.**
- **Todos los países de la Europa continental se vieron afectados desde España a Grecia**
- **17.709 MW de generación pérdida.**
- **18.475 MW de demanda deslastrada.**
- **Costes de suministros superiores a dos horas.**

6

# Conclusiones



## Tabla resumen

Elementos comunes	Nueva York 1977	Italia 2003	Dinamarca/Suecia 200	USA 2003	Alemania 2006
Aplicación del criterio N-1	○	○	◇	●	◇
Falta de inversión en la Red de Transporte	●	●	●	◇	○
Cooperación inadecuada entre TSO	○	○	●	◇	◇
Comportamiento inadecuado de la generación	○	◇	○	○	○
Las tecnologías renovables agravaron el incidente	●	●	○	●	◇
Planes inadecuados de defensa	◇	◇	●	●	●
Inadecuada distribución de la generación	○	○	○	●	●
El refuerzo de la red hubiese tenido un impacto positivo	○	○	◇	◇	○
Una mayor independencia y mayores atribuciones del TSO tendría un impacto positivo	●	●	●	◇	○
Una mejor respuesta de la demanda habría reducido el impacto del incidente	○	◇	○	●	●
Importantes flujos internacionales	●	◇	○	●	◇
Malfuncionamiento de los sistemas de protección	○	●	◇	○	○

- ◇ Fuerte contribución al incidente
- Alguna contribución al incidente
- Ninguna contribución al incidente



### Conclusiones de los incidentes

- **Las causas comunes más importantes que pueden establecerse a partir de los incidentes presentados son:**
  - Falta de inversión en instalaciones de transporte en un entorno donde los flujos de energía internacionales son cada vez más importantes. Importancia de un mallado suficiente, que permita soportar fallos y mantenimientos.
  - Compactación de líneas en apoyos comunes supone fallos múltiples, para los que no está preparado el sistema.
  - Inadecuado/insuficiente mantenimiento de los corredores de las líneas. (tala y poda de árboles)
  - Falta de coordinación entre ISO y TO en situaciones de emergencia donde es necesario tomar acciones de modo coordinado y en tiempos cortos. Ir a modelo TSO independiente y mejorar la coordinación e intercambio de información entre los TSO.
  - Inadecuada distribución de la generación generando importante flujos y desbalances entre la generación y demanda en situaciones de emergencia.
  - Contribución de las energías renovables al agravamiento del incidente.
  - Actuación incorrecta de los sistemas de protección.



## Conclusiones sobre redes alta tensión

