



# Vulnerabilidad de la Red Eléctrica de AT a Tormentas Geomagnéticas

## *Curso de Fenómenos Astronómicos* ENAPROC

Mtro. Ramón Caraballo

*Posgrado en Ciencias de la Tierra  
Inst. de Geofísica, Laboratorio Nacional de Clima Espacial, UNAM*

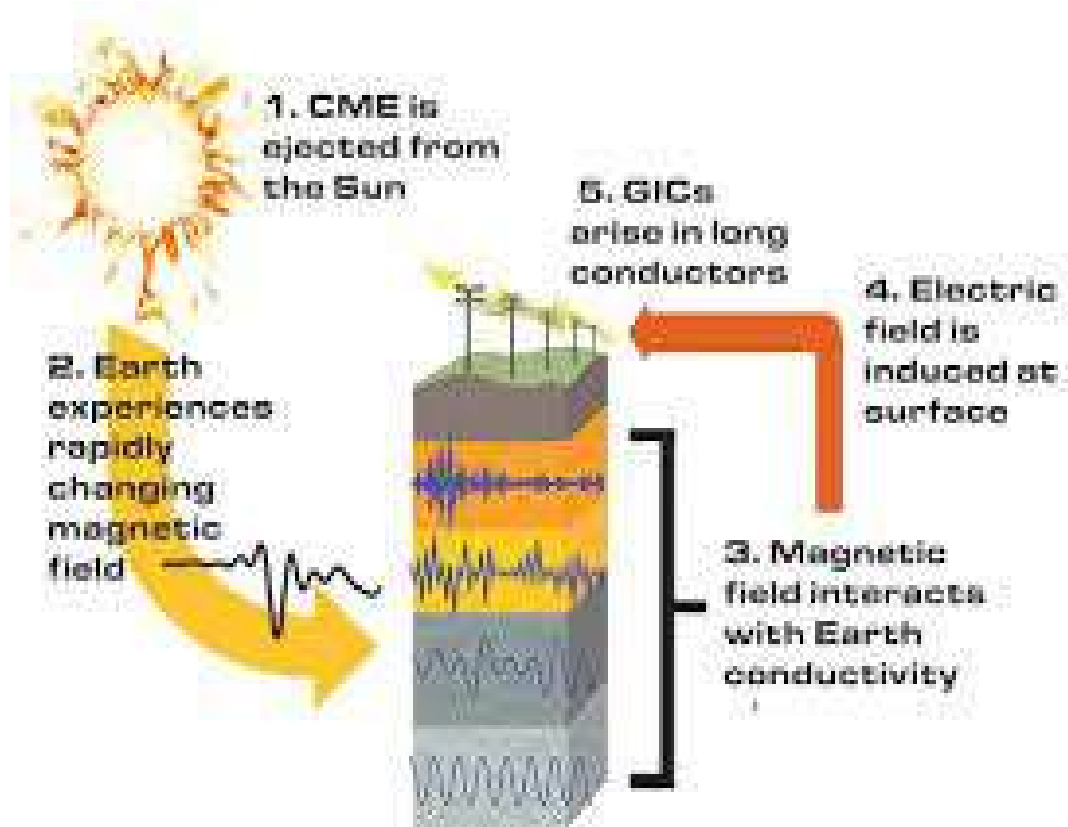
*28 de Mayo de 2021*

# Índice

- *Introducción*
- *Efectos sobre el Hardware de AT e Impacto Económico*
- *Red de Monitoreo de CIG en México*
- *Evaluación Preliminar*
- *Estrategias de Mitigación*
- *Consideraciones Finales*

# Introducción

## Generalidades sobre las CIG



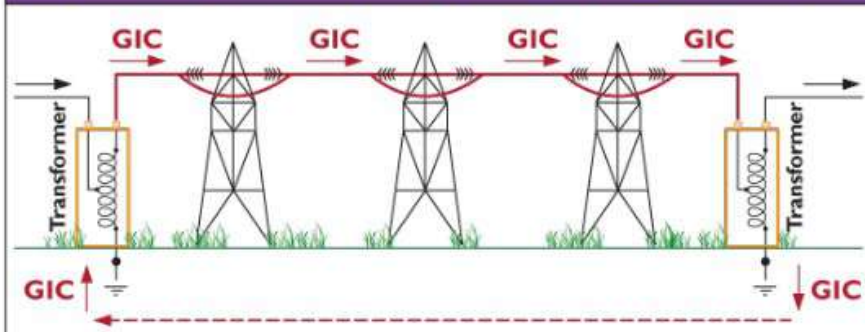
- **Consecuencia de la Actividad Solar severa**
- **Perturbaciones del campo geomagnético inducen campos eléctricos en superficie.**
- **Corrientes cuasi-continuas**
- **Alcanzan decenas a cientos del Amps**
- **Atacan la infraestructura de alta tensión, oleoductos, sist. de señalización ferroviario, cables submarinos.**

# CIG: Efectos sobre el Hardware de AT

- **Amplificación de medio ciclo:** el transf. sale de la region lineal de operación.
  - 1 Generación de Armónicos.
  - 2 Disparo súbito de mecanismos de protección (Relay tripping).
  - 3 Casos extremos: Desconexiones en cascada, destrucción de equipos, colapso total. (Ej. Hydro Quebec, 90 s, 1989 ).
- **Generación de "puntos calientes":** en el tanque de refrigerante, i.e, degradación química de este.
- **Envejecimiento prematuro** por sucesivos ciclos de recalentamiento,
- **Mayor vulnerabilidad:** En dispositivos sobrecargados y/o envejecidos.



## ELECTROMAGNETIC RADIATION INDUCES AN ELECTRIC CURRENT



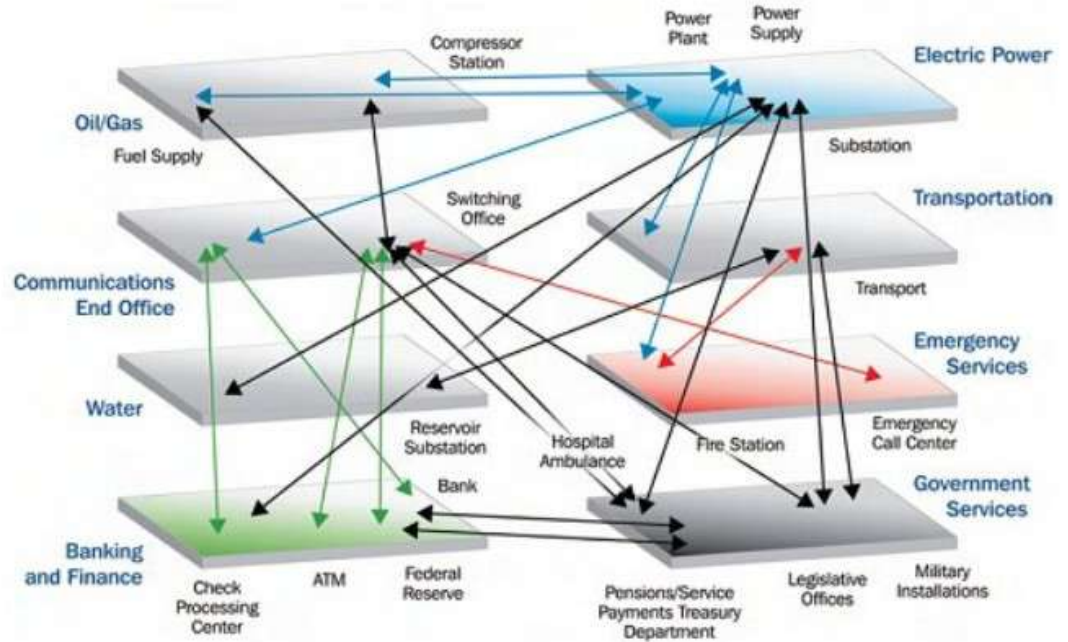
The electromagnetic radiation induces an electric current (quasi DC) in the transmission line, which passes through the coils of the transformer.



## TRANSFORMER FAILURE



The temperature increases in metals, oil and windings, and may cause accelerated aging of the insulation and transformer failure.



Los fallos ocasionados por las GIC en los sistemas de transmisión de energía repercuten directa e indirectamente en innumerables sectores de la sociedad.

# Worst case scenario...

**The grid is becoming increasingly vulnerable to space weather events** *Future Directions in Satellite-derived Weather and Climate Information for the Electric Energy Industry – Workshop Report Jun 2004*

**“...blackouts could exceed even that of the very large blackout that occurred in August 14, 2003. And there is no part of the U.S. power grid that is immune to this... we could impact over 100 million population in the worst case scenario.”**

John Kappenman - before U.S. House Subcommittee on Environment, Technology & Standards Subcommittee Hearing on “*What is Space Weather and Who Should Forecast It?*”



**\$1-2 Trillion |**

**Potential loss due to widespread power grid blackout following severe geomagnetic storm**

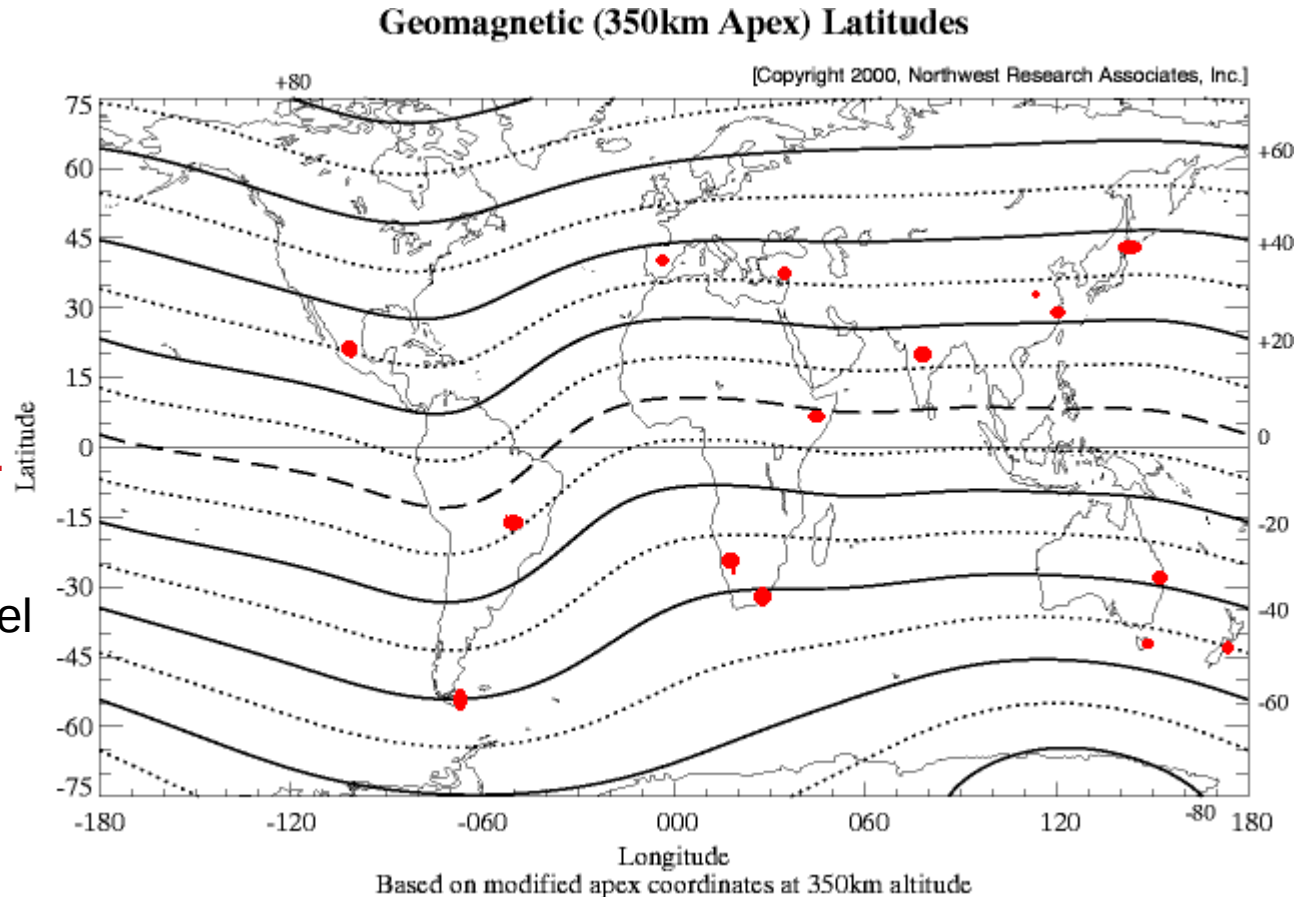
**4-10 Years |**

**Recovery time from a widespread power grid blackout following severe geomagnetic storm**

Source: National Academy Workshop on the Societal and Economic Impacts of Severe Space Weather Events held in Washington, D.C., May 2008.

# CIGs en Latitudes Medias y Bajas

- Cambio de paradigma!!
- Efectos del Clima espacial como las CIGs se han convertido en un Problema de Seguridad Nacional.
- Desde 2008 se ha incrementado el Interés en el estudio y monitoreo de CIGs en bajas y medias Lats.



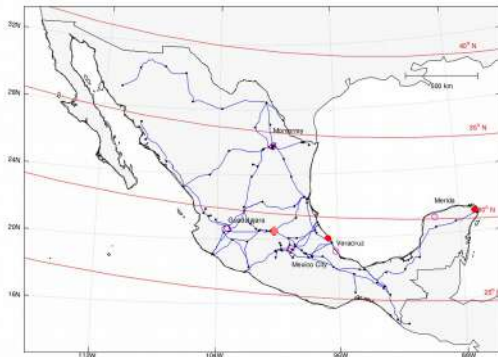
# Red de Detectores de CIG

## Red de 400 kV México

### Sensores de CIG + Modelo Numérico



- **Colaboración entre el LANCE y CFE**
- **Orto de México S.A. construye los sensores de CIG.**
- **Para 2022 contaremos con de 5 sensores de CIG en la red de 400 kV.**
- **Las mediciones permitirán estudiar la respuesta de la red eléctrica de AT durante perturbaciones geomagnéticas.**

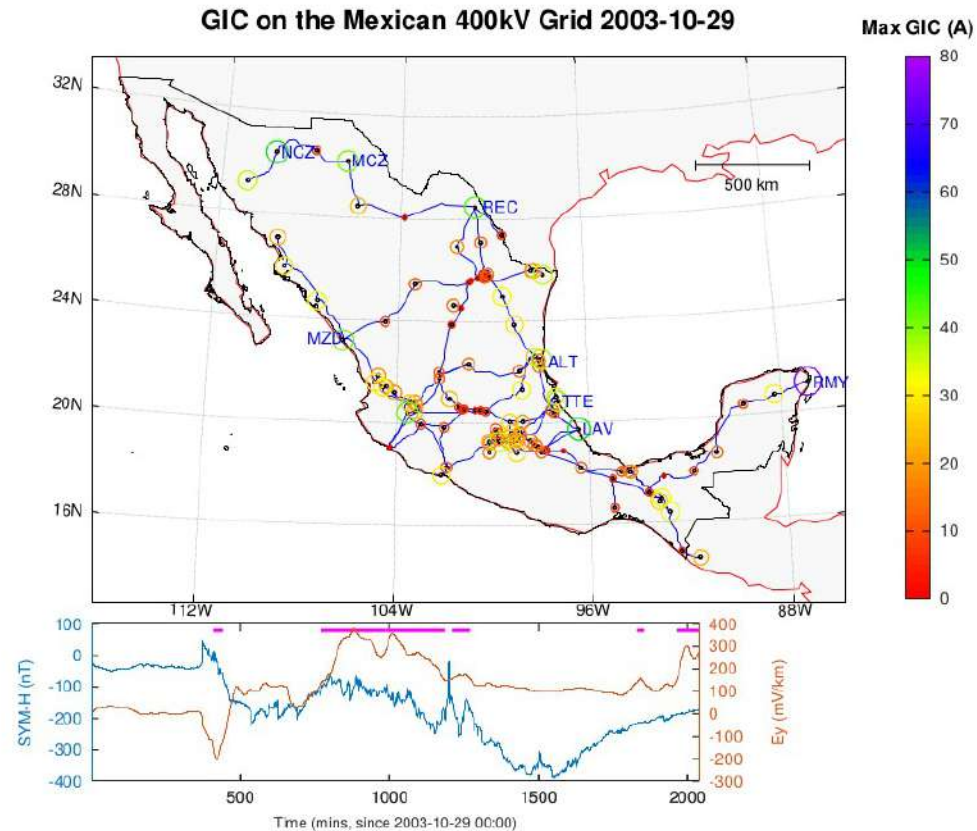




# Evaluación Preliminar

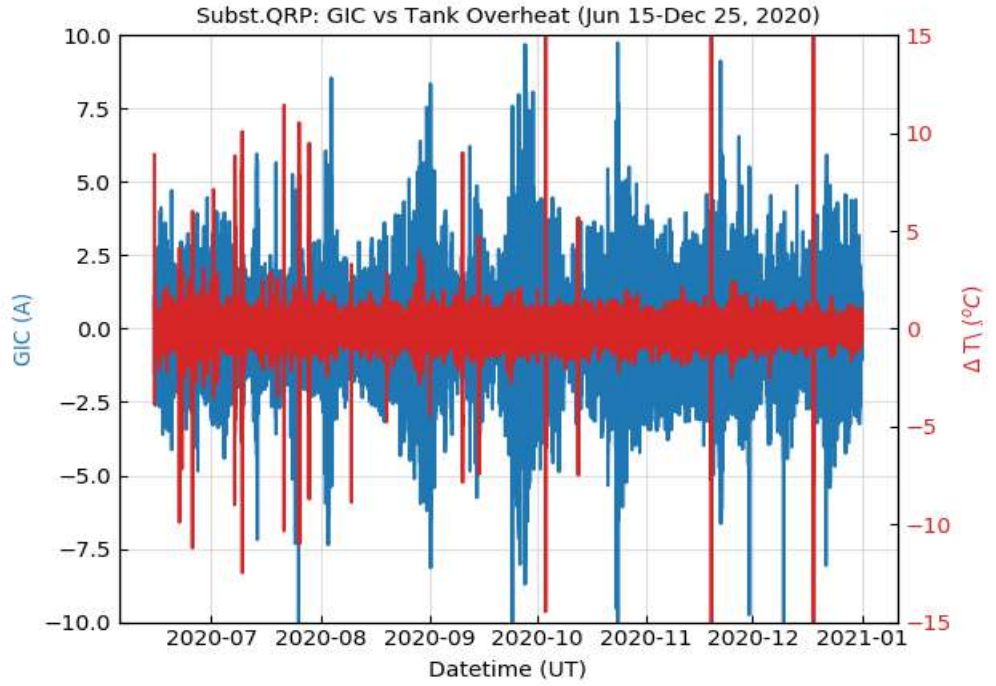
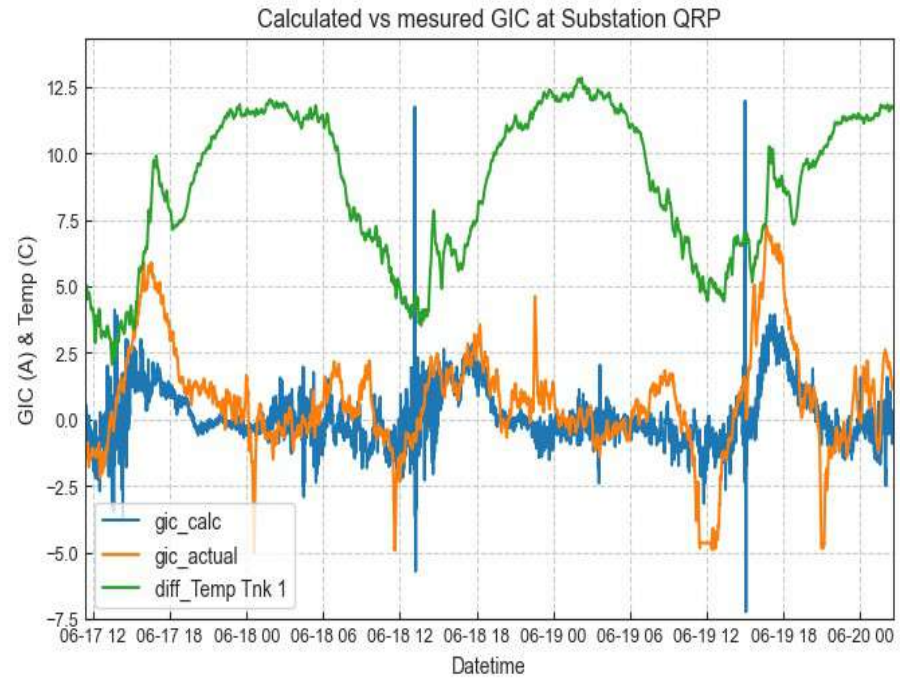
## Modelo exploratorio para el Territorio Mexicano.

- Evaluamos cuatro eventos  
15 Jul 2000, 29 Oct 2003 (sc 23); 17 Mar 2015  
8 Sep. 2017 (sc 24)
- Se obtuvieron CIGs  $> 40$  A en los extremos de la red de 400 kV y áreas costeras.
- Sub: Riviera Maya  $>75$  A !!! durante la Tormenta de Halloween
- Resultados Similares en los demás eventos.



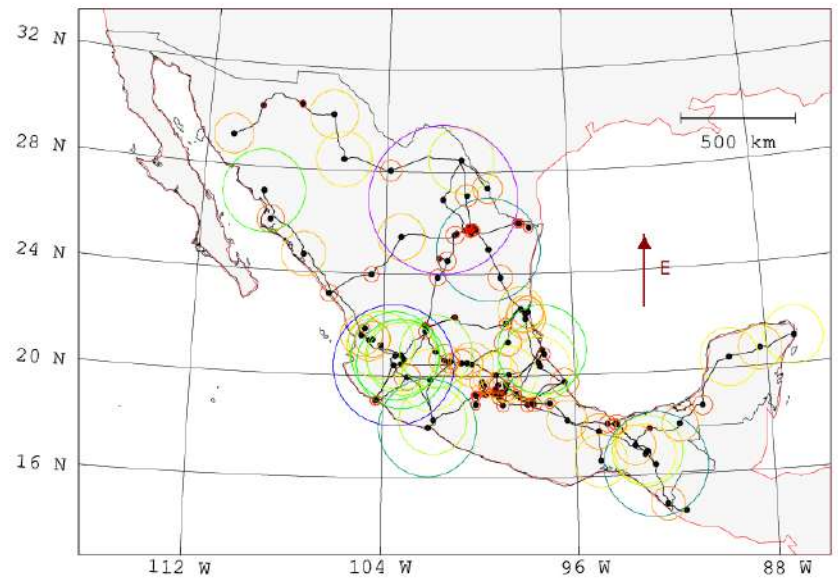
# CIG Medida en Querétaro

Mediciones continuas desde Junio 2020!!

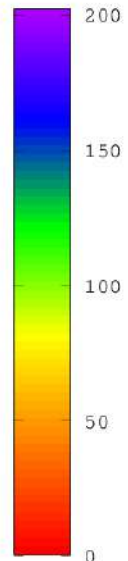


# Evento Extremo

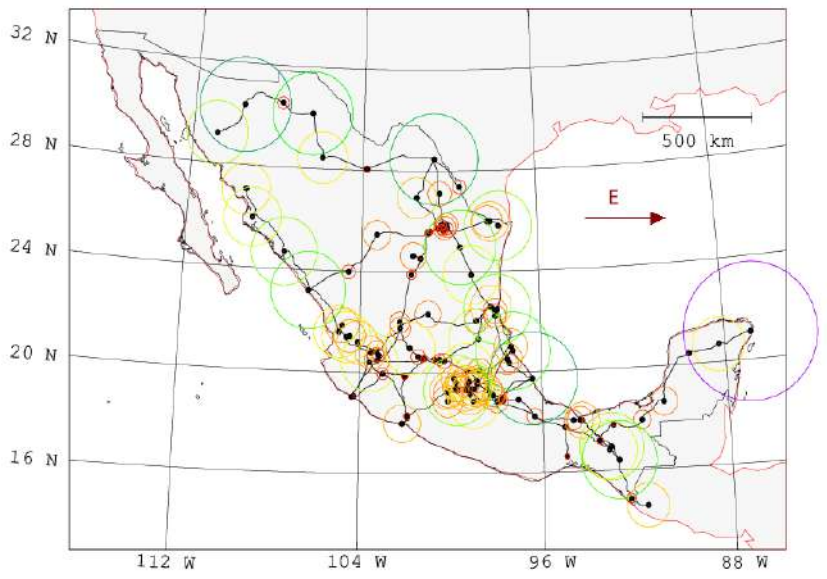
Hypothetical Super-Storm w/ E = 1V/km N-S



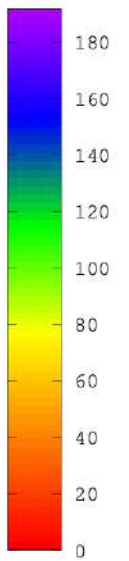
Max GIC (A)



Hypothetical Super-Storm w/ E = 1V/km W-E



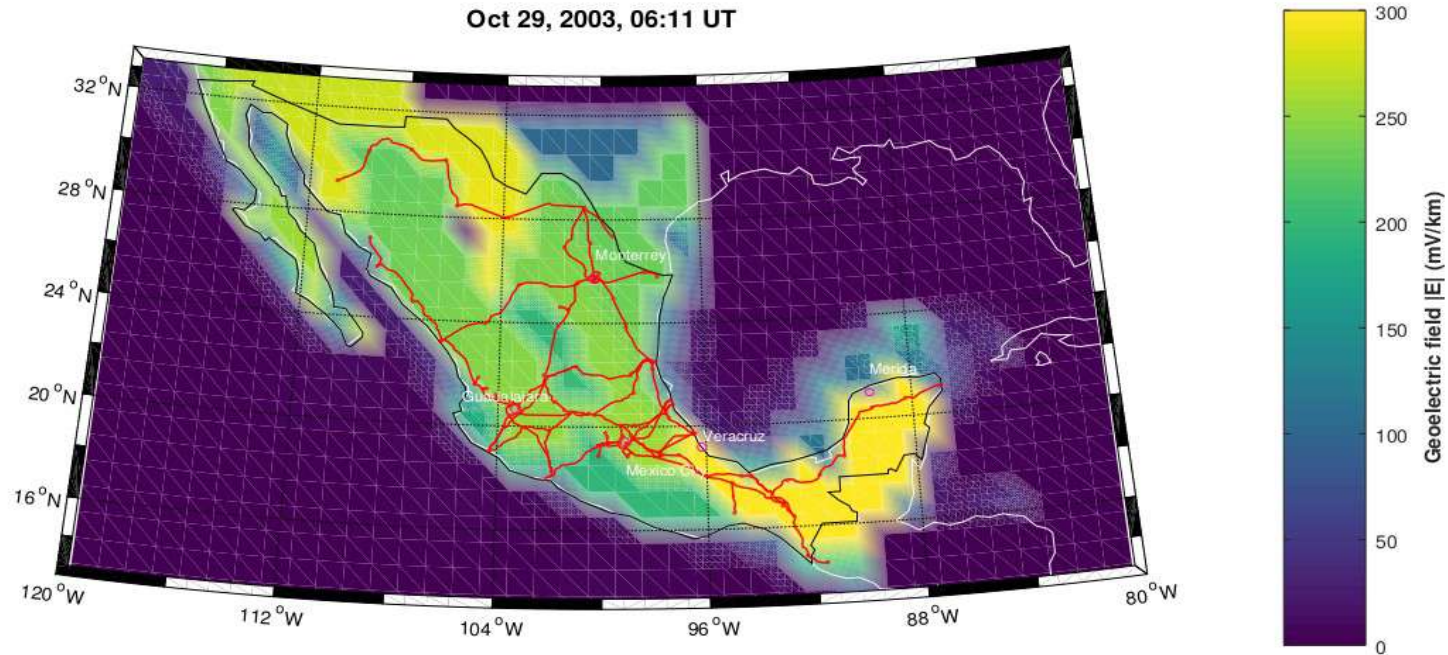
Max GIC (A)



En ambos casos se observan grandes intensidades de CIG en subestaciones ubicadas en los extremos de la red (efecto topológico).

# Campo Geoelectrico Inducido

$|E|$  : Primer indicador de riesgo



Dst = -350 nT

# Red de Magnetómetros

- Se está instalando en paralelo un red de magnetómetros en diversos puntos del territorio nacional
- Esto permitirá mejorar la precisión de las estimaciones.



# Estrategias de Mitigación

Monitoreo y pronóstico continuo

Sist. de Alerta temprana a los Operadores

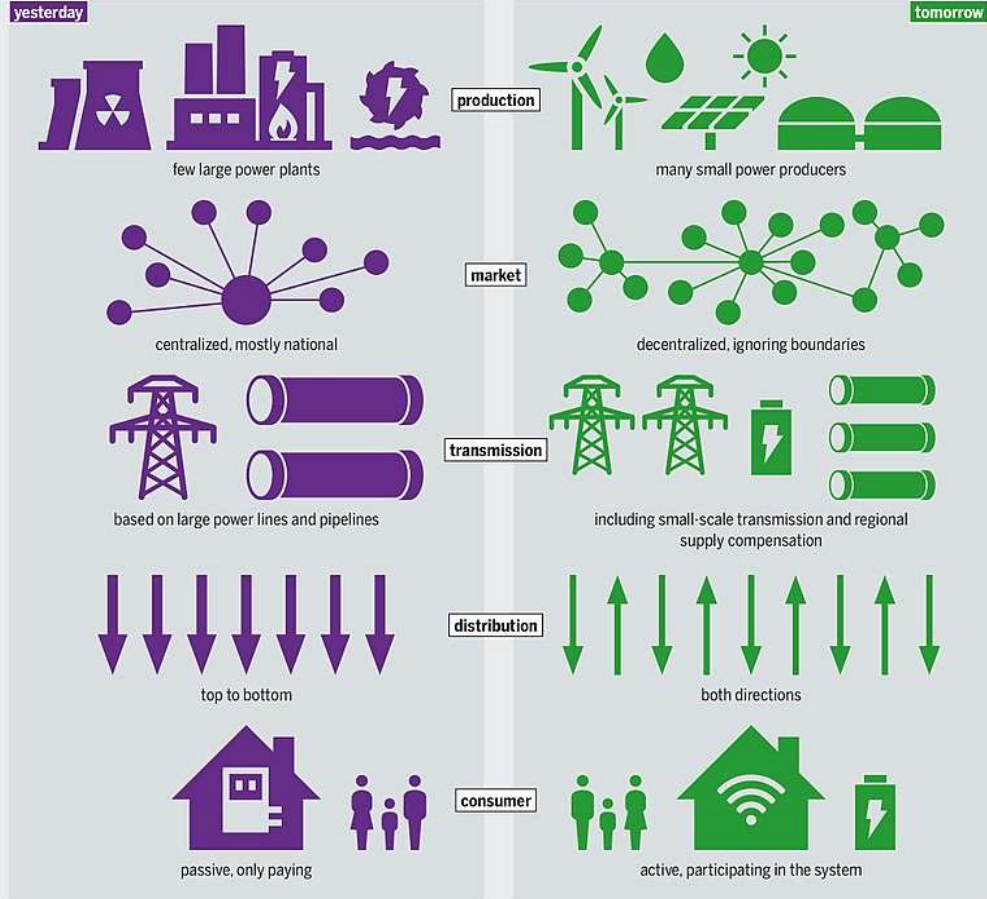
Interacción constante con los organismos de Protección Civil: Semáforos de condición.

Gestion inteligente de las redes eléctricas


Soluciones de Hardware

## STAYING BIG OR GETTING SMALLER

Expected structural changes in the energy system made possible by the increased use of digital tools



# Clima Espacial: Riesgo Global



**NATIONAL SPACE WEATHER STRATEGY AND ACTION PLAN**

*Product of the*  
SPACE WEATHER OPERATIONS, RESEARCH, and MITIGATION WORKING GROUP  
SPACE WEATHER, SECURITY, and HAZARDS SUBCOMMITTEE  
COMMITTEE ON HOMELAND and NATIONAL SECURITY

*of the*  
NATIONAL SCIENCE & TECHNOLOGY COUNCIL

March 2019



## Geomagnetic Disturbance Monitoring Approach and Implementation Strategies

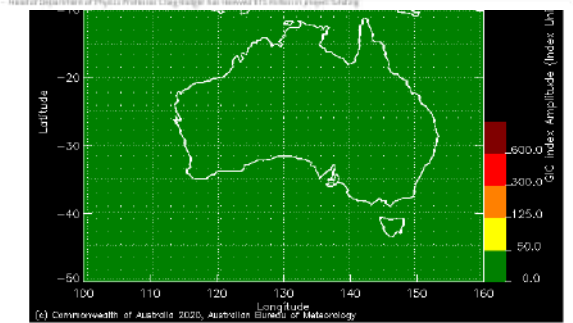
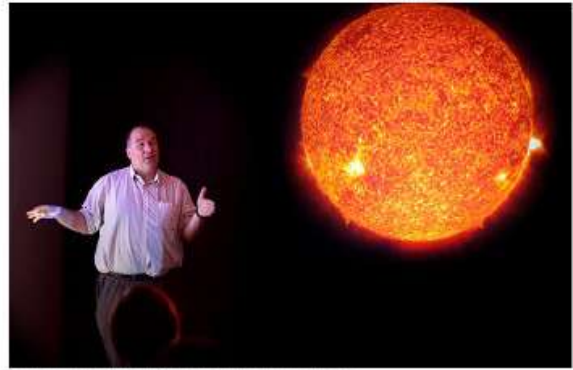
January 2019

United States Department of Energy  
Washington, D.C. 20585



### UNI NEWS OTAGO BULLETIN BOARD

Otago's largest MBIE funded project to weather the solar storm



# Consideraciones Finales

- **Las CIGs son un riesgo de seguridad para las redes eléctricas de AT a baja latitud.**
- **Colaboración entre la UNAM y CFE para el estudio y monitoreo de CIG.**
- **Se pueden registrar CIGs  $> 75$  A en la red eléctrica Mexicana durante tormentas magnéticas severas.**
- **Se ha conseguido mapear el campo geoeléctrico sobre el territorio mexicano a modo de indicador preliminar de riesgo CIG.**
- **Se está instalando una red de magnetómetros para complementar las mediciones**



*Gracias por su Atención !!!*

