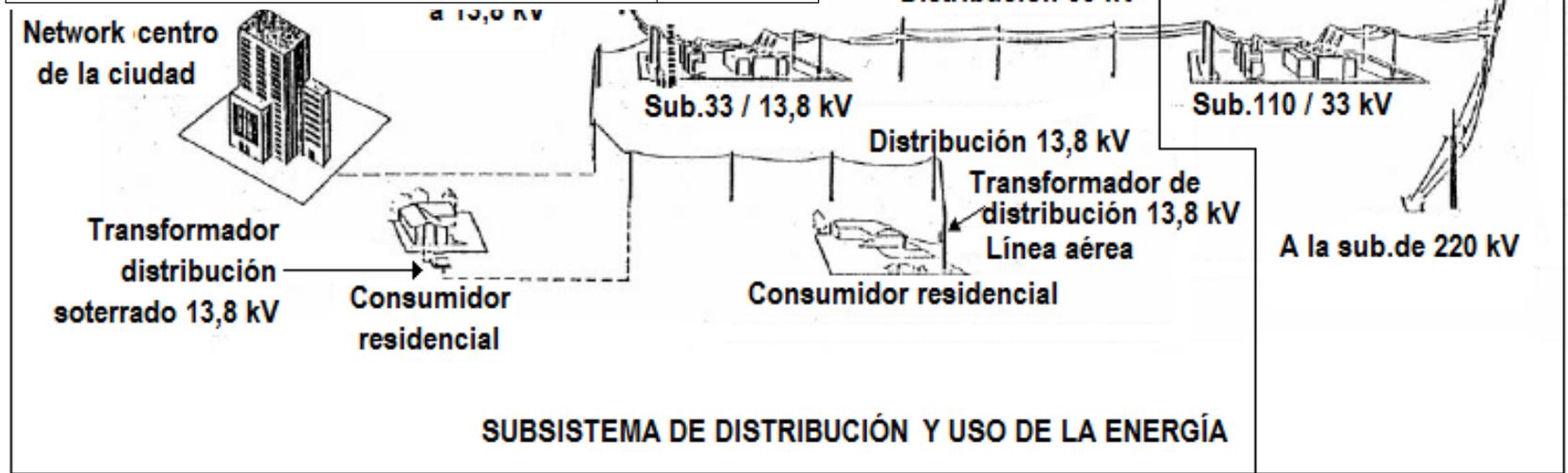
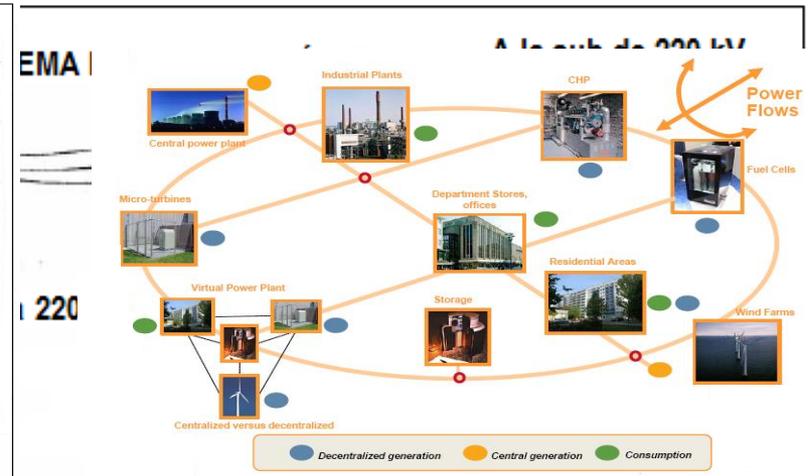
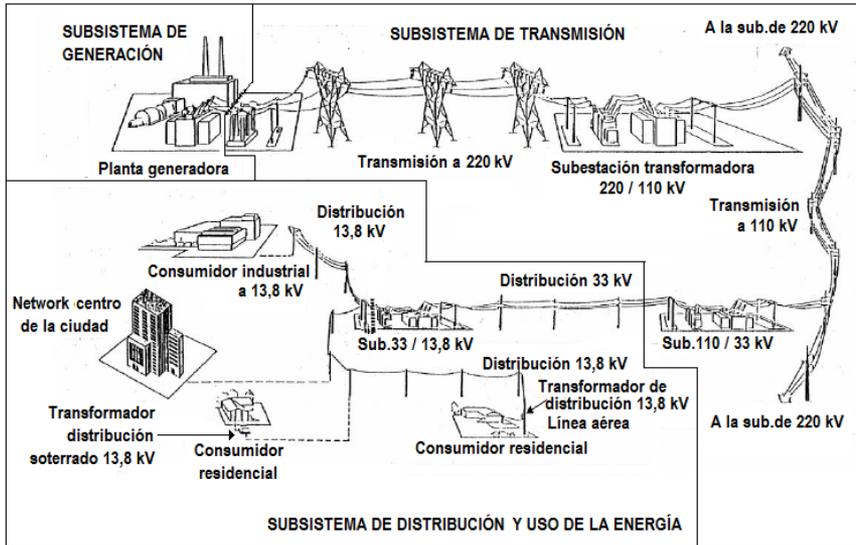


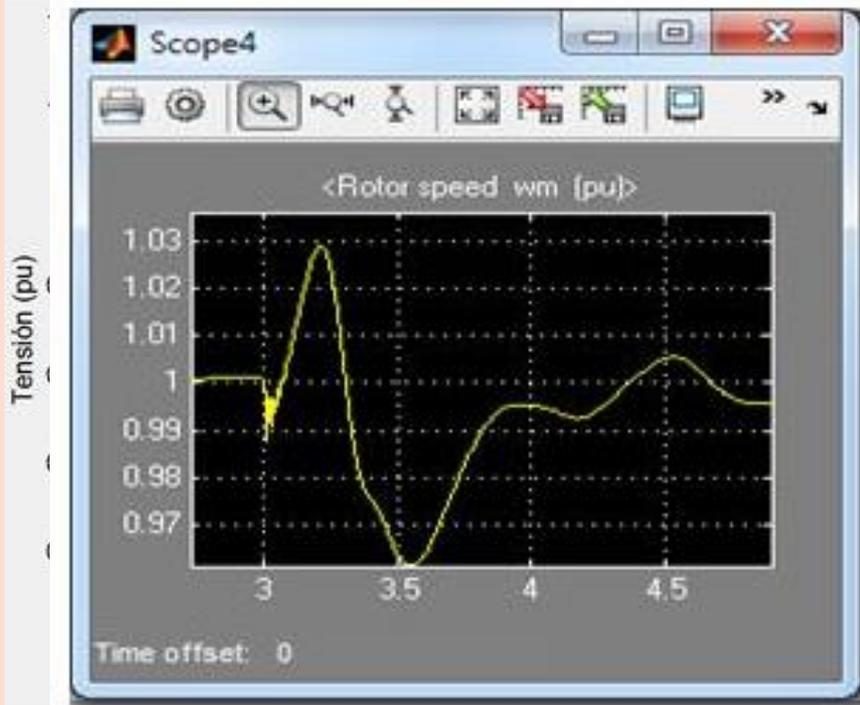
# **IMPACTO DE LAS FUENTES RENOVABLES DE ENERGÍA EN LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA. EL CASO DE CUBA.**

**Dr. C. Miguel Castro Fernández  
Centro de Investigaciones y Pruebas  
Electroenergéticas  
La Habana, Cuba**

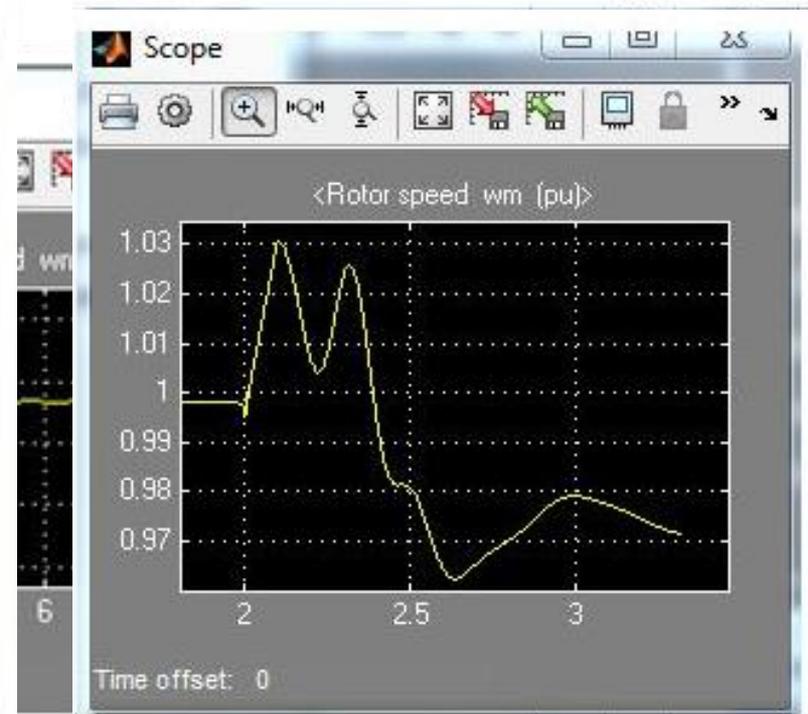
# INTRODUCCIÓN



# INTRODUCCIÓN



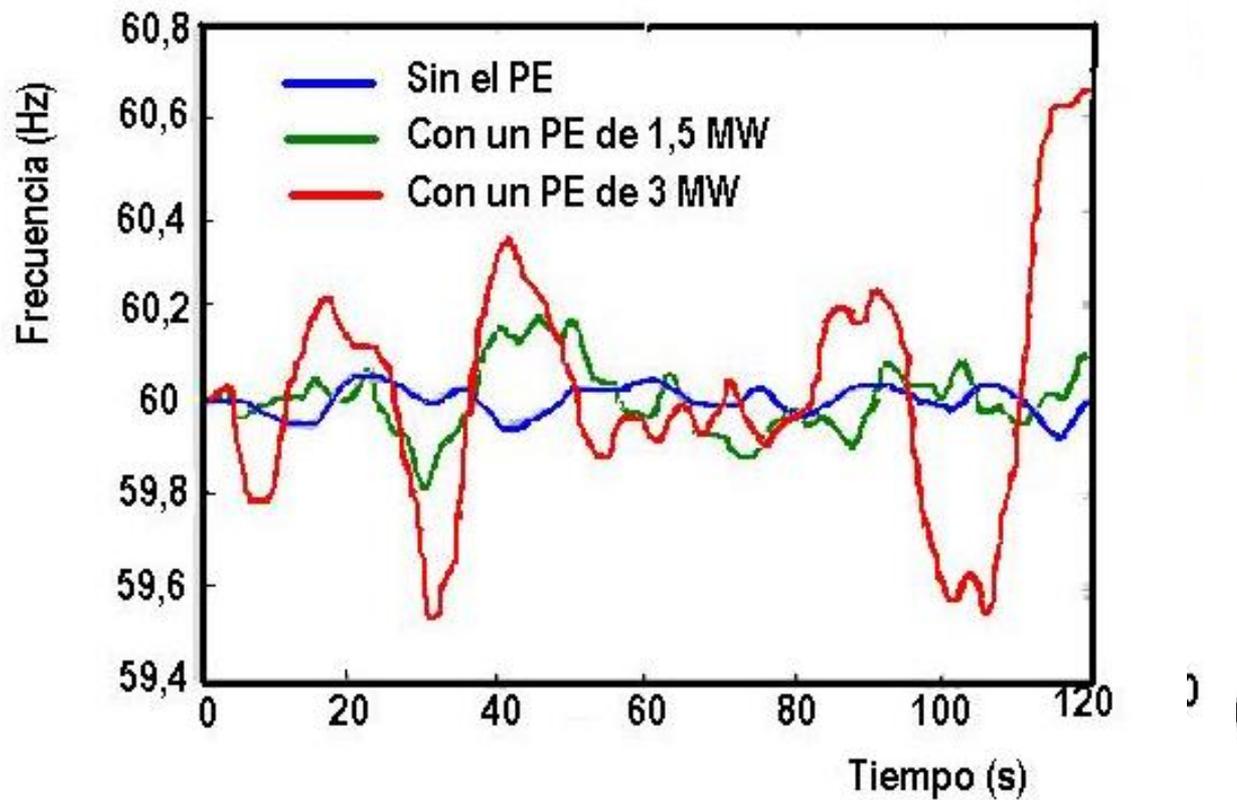
Variación de la frecuencia ante un cortocircuito 3  $\phi$  en la red



Variación de la frecuencia ante un cortocircuito 3  $\phi$  en los terminales de un generador

# INTRODUCCIÓN

## Retos en el uso de las FRE



# **TENDENCIAS EN EL USO DE LAS FUENTES RENOVABLES DE ENERGÍA.**



# TENDENCIAS.

1. Las instalaciones residenciales y comerciales en las azoteas de los edificios se incrementaran desde los 104 GW en el 2014 a casi 1.800 GW en 2040.
2. Para 2040, las economías en desarrollo se habrán gastado 1 billón de dólares en sistemas fotovoltaicos pequeños.



# TENDENCIAS.

- La eólica terrestre alcance 1.8 TW de potencia instalada en todo el mundo en el 2040;
- La fotovoltaica alcanzará una potencia de 1,9 TW (24 veces más que en la actualidad);
- La eólica marina también se multiplicará por 25 y alcanzará los 198 GW,
- El resto de las tecnologías, como los sistemas de almacenamiento, alcanzarán los 858 GW, unas 17 veces más que en el año 2014.



# Uso de las FRE

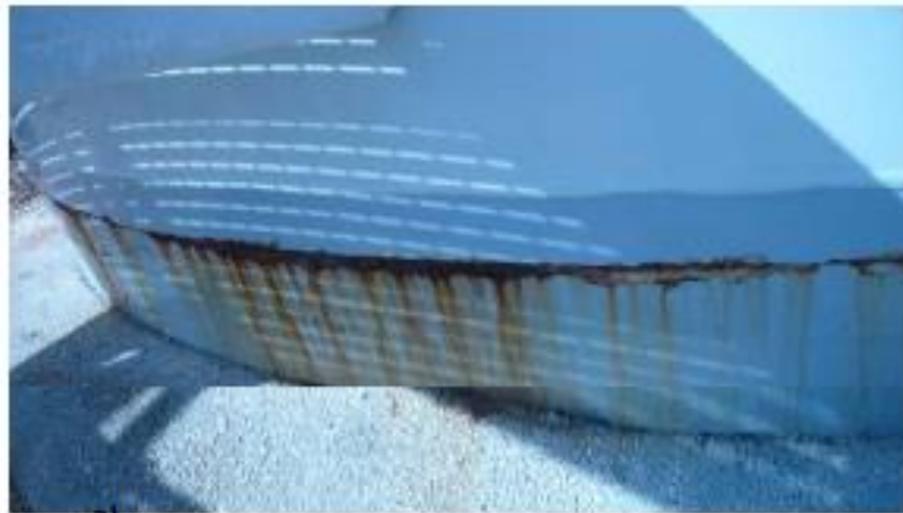
## IMPACTO.

- Efectos del medio ambiente sobre las instalaciones (DEA, corrosión, etc).
- Penetración en los SEP.
- Altos costos de inversión.
- Variabilidad de la fuente.
- Incremento de la corriente de cortocircuito.

# Efectos del medio ambiente.

En condiciones normales.

- Corrosión.
- Descargas eléctricas atmosféricas.



# Efectos del medio ambiente.

- La alta agresividad de la atmósfera se refleja en diversas esferas del sector productivo, y una de las más afectadas es el sector eléctrico.
- La corrosión de los metales o recubrimientos metálicos que forman parte de las construcciones de equipos, así como las consecuentes fallas que ocurren por su acción, es un fenómeno universal.



# Efectos del medio ambiente.

CORROSIÓN



EXISTENCIA INESTABLE  
DE LOS METALES EN  
AMBIENTE NATURAL

absorción de energía



MINERALES

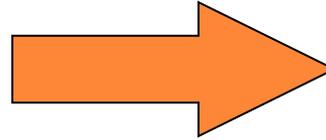
ESTADO METÁLICO  
CONOCIDO

liberación de energía



# Efectos del medio ambiente.

Muchos factores inciden  
en el proceso



COMPLEJIDAD

POR TAL RAZÓN SE PREFIERE OBTENER INFORMACIÓN,  
DATOS (CONOCIMIENTOS) A TRAVÉS DE LOS ESTUDIOS DE  
CAMPO

pues....

LOS EFECTOS DE CORROSIÓN QUE SE MODELAN EN  
DICHOS ESTUDIOS TIENEN UNA RELACIÓN INMEDIATA CON  
LOS QUE OCURREN EN LA REALIDAD



# **Efectos del medio ambiente.**

## **DONDE SE PRESENTAN PROCESOS DE CORROSIÓN EN EL SECTOR ELÉCTRICO**

- **En los conductos de transporte de combustible, enfriamiento y calderas de las plantas generadoras.**
- **En las instalaciones o partes de los sistemas soterrados como conductores, mallas, electrodos de aterramiento, tuberías de combustibles.**
- **En las instalaciones expuestas a la acción de la atmósfera: líneas aéreas, subestaciones, estructuras.**



# Efectos del medio ambiente.

**Una característica interesante con relación a cómo se presenta la corrosión en las instalaciones eléctricas en Cuba:**

Influencia de la ubicación de la parte metálica en las pérdidas de corrosión:

- En muestras inclinadas, el 60% de las pérdidas totales se producían por el lado que daba hacia la tierra;
- Ángulo de inclinación de las muestras.



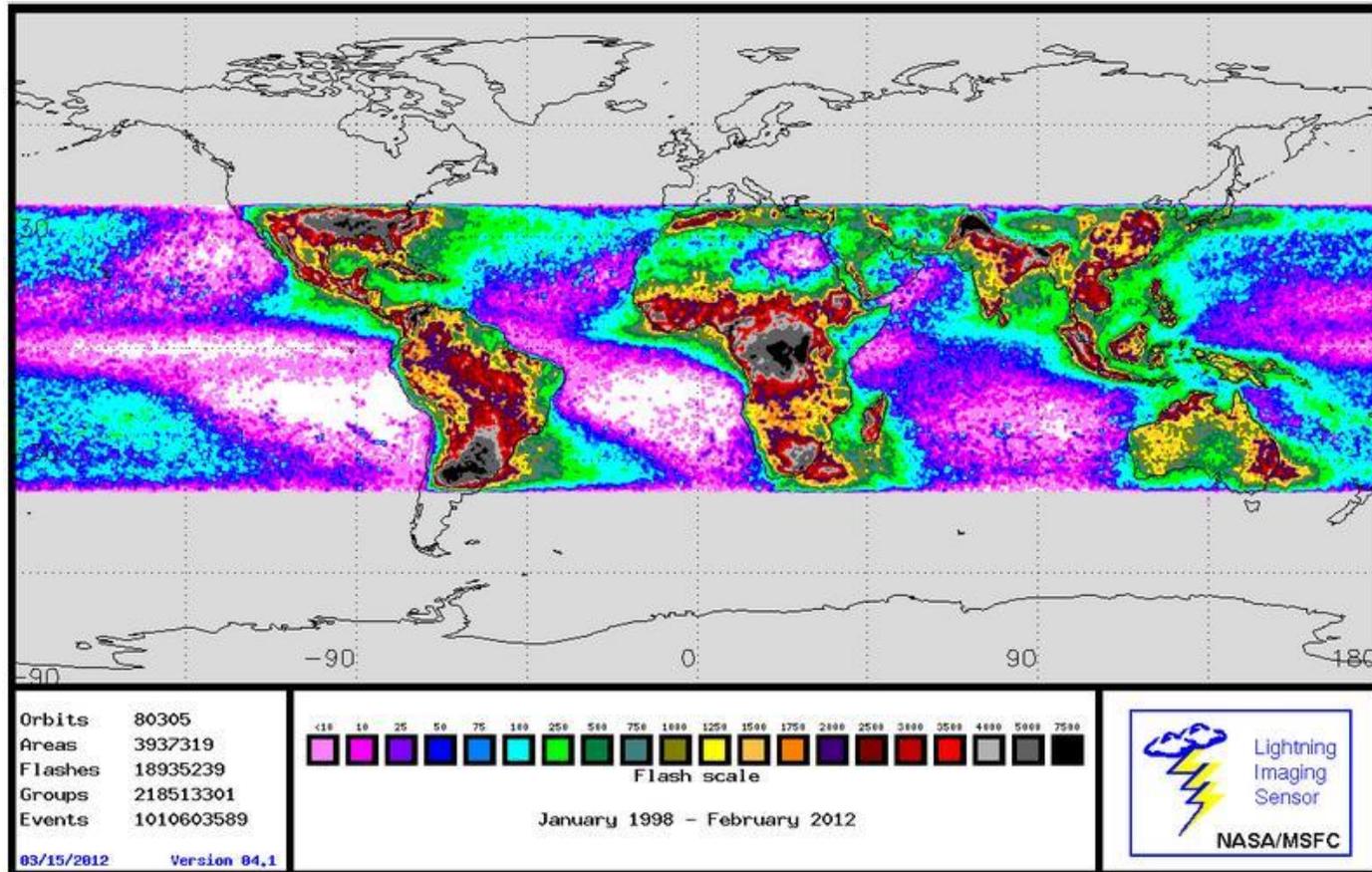
# Efectos del medio ambiente.

## EXPERIENCIAS PARQUE GIBARA HOLGUÍN.



# Efectos del medio ambiente.

## LAS DESCARGAS ATMOSFÉRICAS EN CUBA.



# Efectos del medio ambiente.

## LAS DESCARGAS ATMOSFÉRICAS EN CUBA.

✓

✓



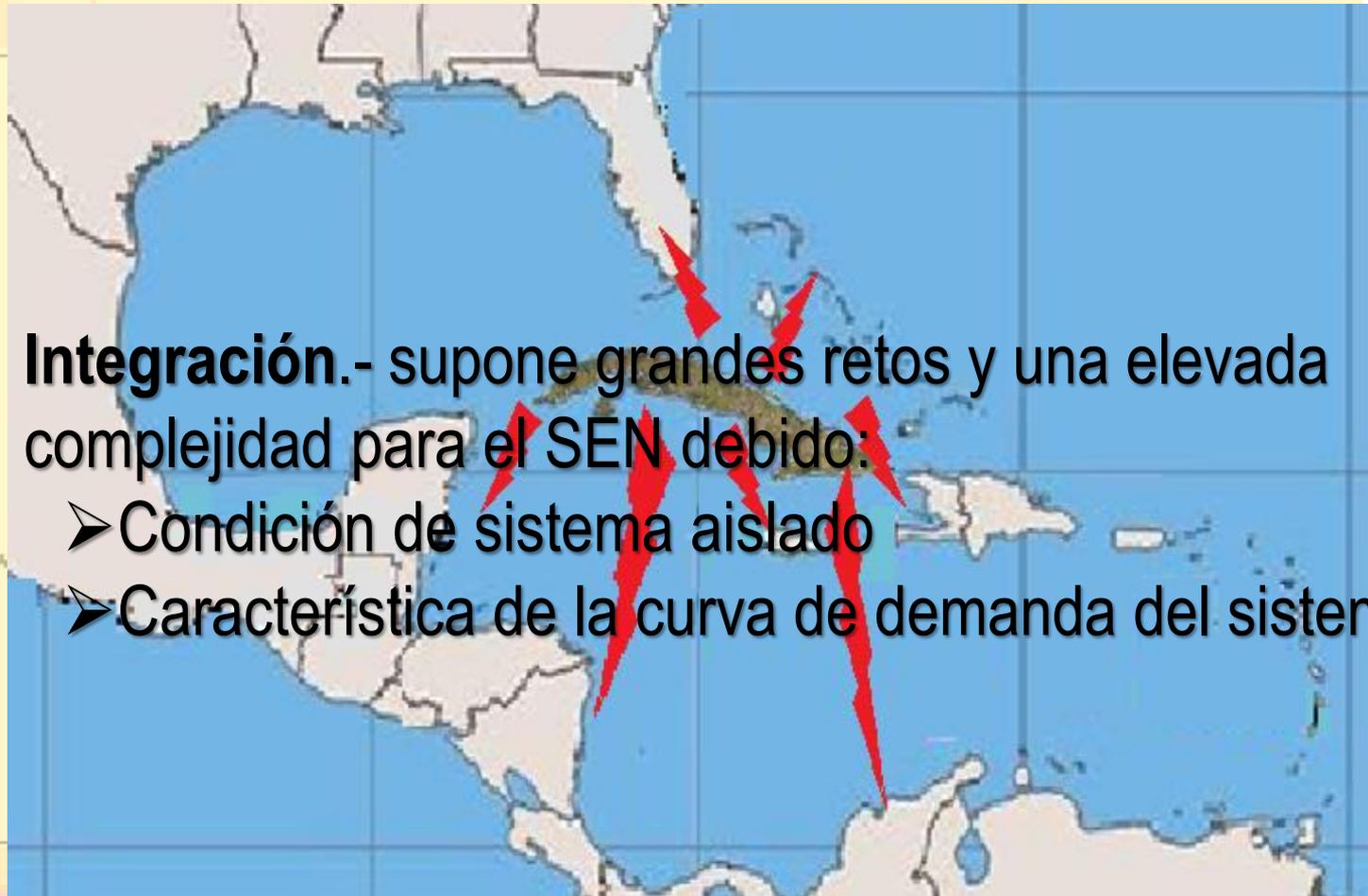
a raíz

Las descargas  
atmosféricas en  
Cuba



# Integración de las FRE

## IMPACTO.

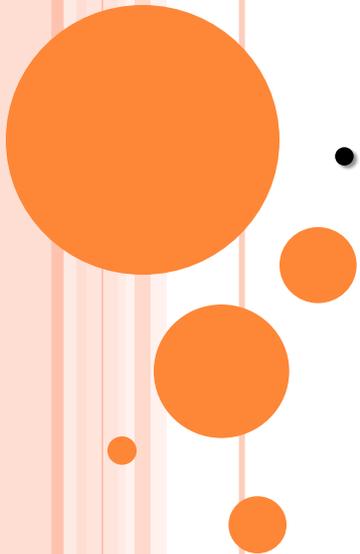
- 
- de
- **Integración.**- supone grandes retos y una elevada complejidad para el SEN debido:
    - Condición de sistema aislado
    - Característica de la curva de demanda del sistema.



# Integración de las FRE

## REQUERIMIENTOS ANTE LA PRESENCIA DE LAS FRE.

- Necesidad de potencia instalada total en el sistema para cubrir los momentos con bajas disponibilidades de los recursos renovables.
- Un mayor uso de los mecanismos de ajuste del sistema.
- Necesidad de realizar vertidos de energía renovable para garantizar la seguridad del sistema.

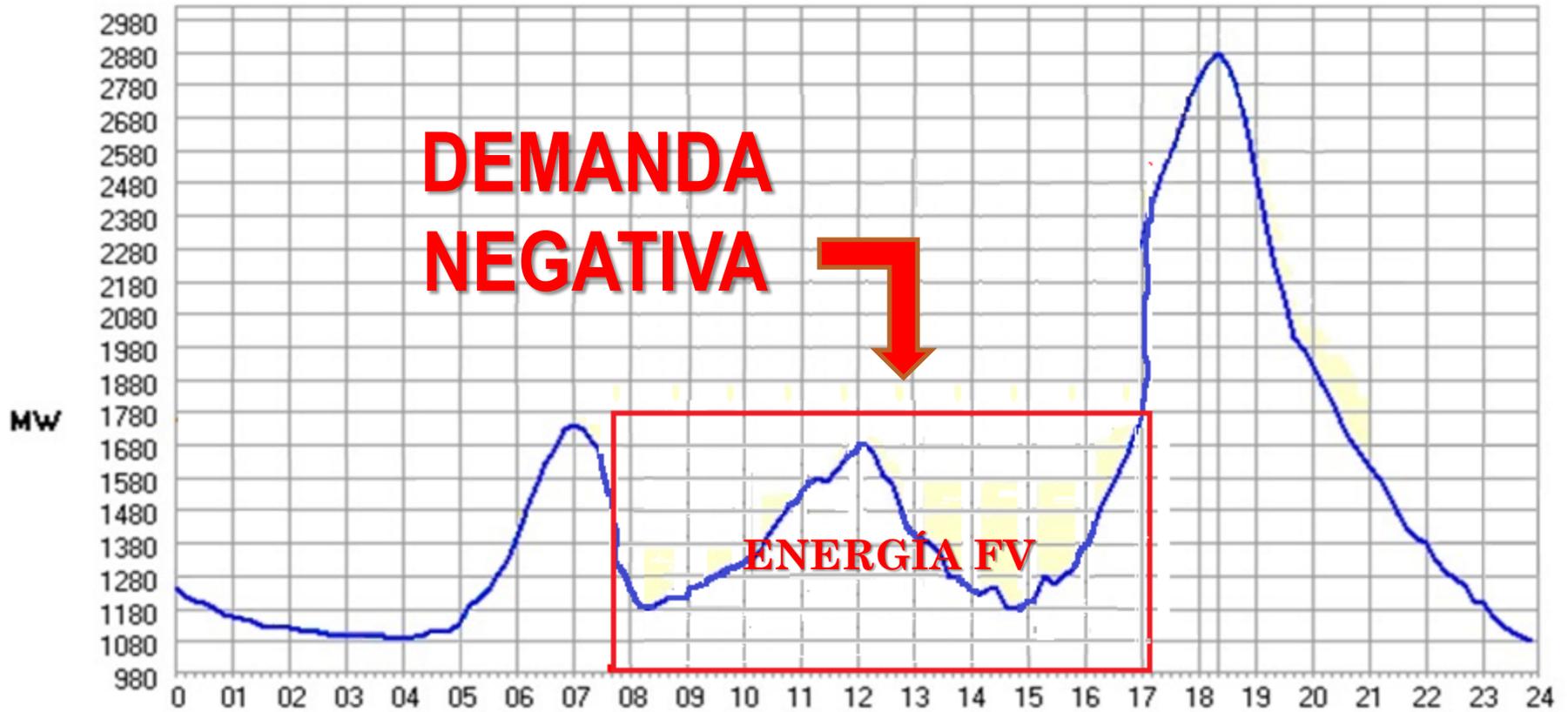


# Integración de las FRE

## EFECTO DE LAS FRE EN LA CURVA DE DEMANDA.

República de Cuba  
Demanda de Energía Eléctrica

Leyenda:  
— Demanda del Sistema



# Integración de las FRE

## DILEMA ANTE UNA PRODUCCIÓN ALTA DE LAS FRE.

- Parar unidades de generación base para aprovechar la generación por FRE,
- Dar solución al problema de la renovable, desconectando las mismas, o dando la posibilidad de que su producción se vierta hacia otros elementos del sistema.



# Integración de las FRE

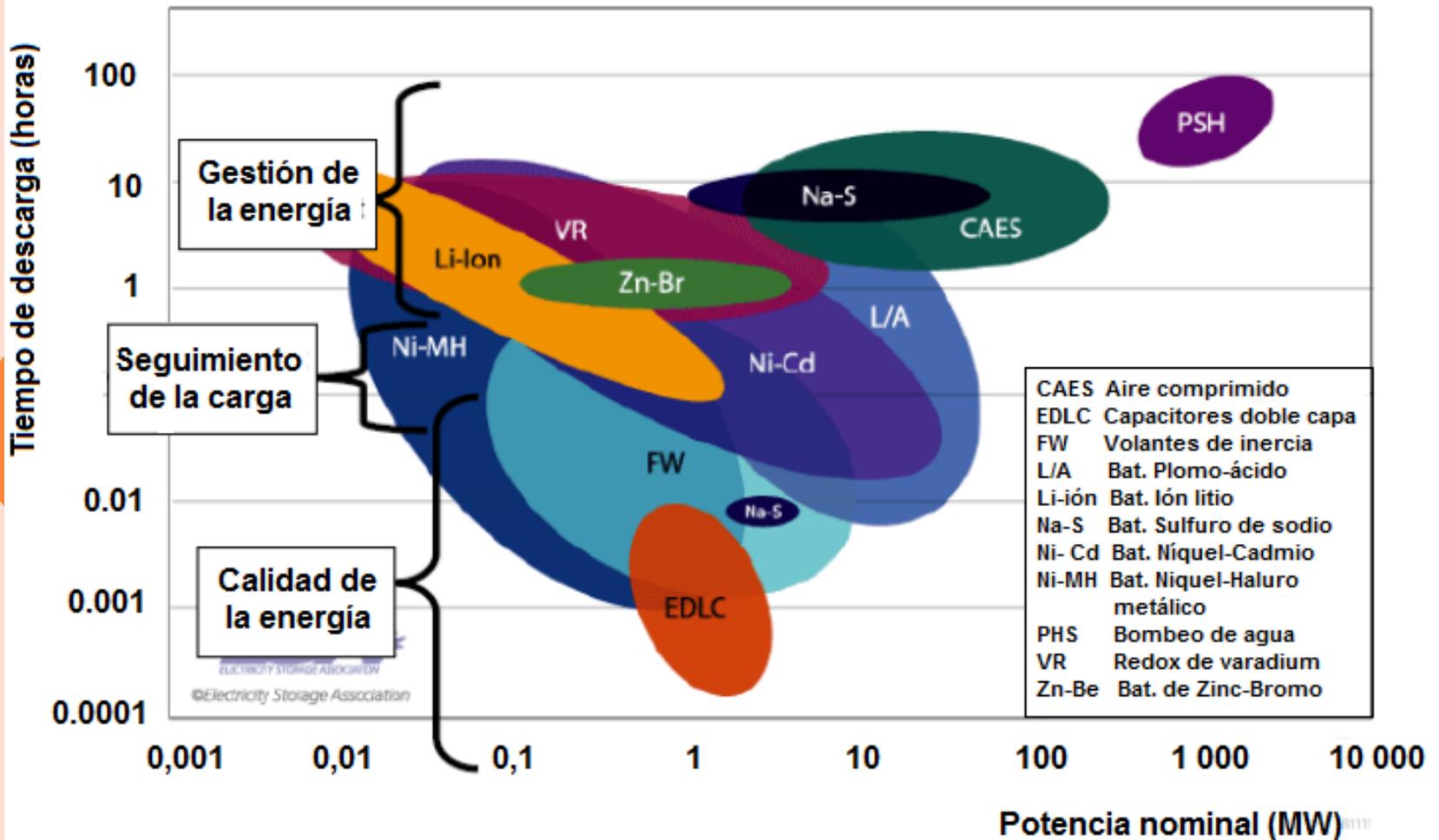
## INCREMENTO DE LA GENERACIÓN FLEXIBLE.

**Ante excesos de producción sobre los valores de equilibrio determinados por la demanda al parecer existen tres posible soluciones:**

- Incrementar los consumos después de haber desarrollado medidas de gestión de la demanda.
- Aumentar las exportaciones de energía hacia otros sistemas.
- Almacenar la energía.

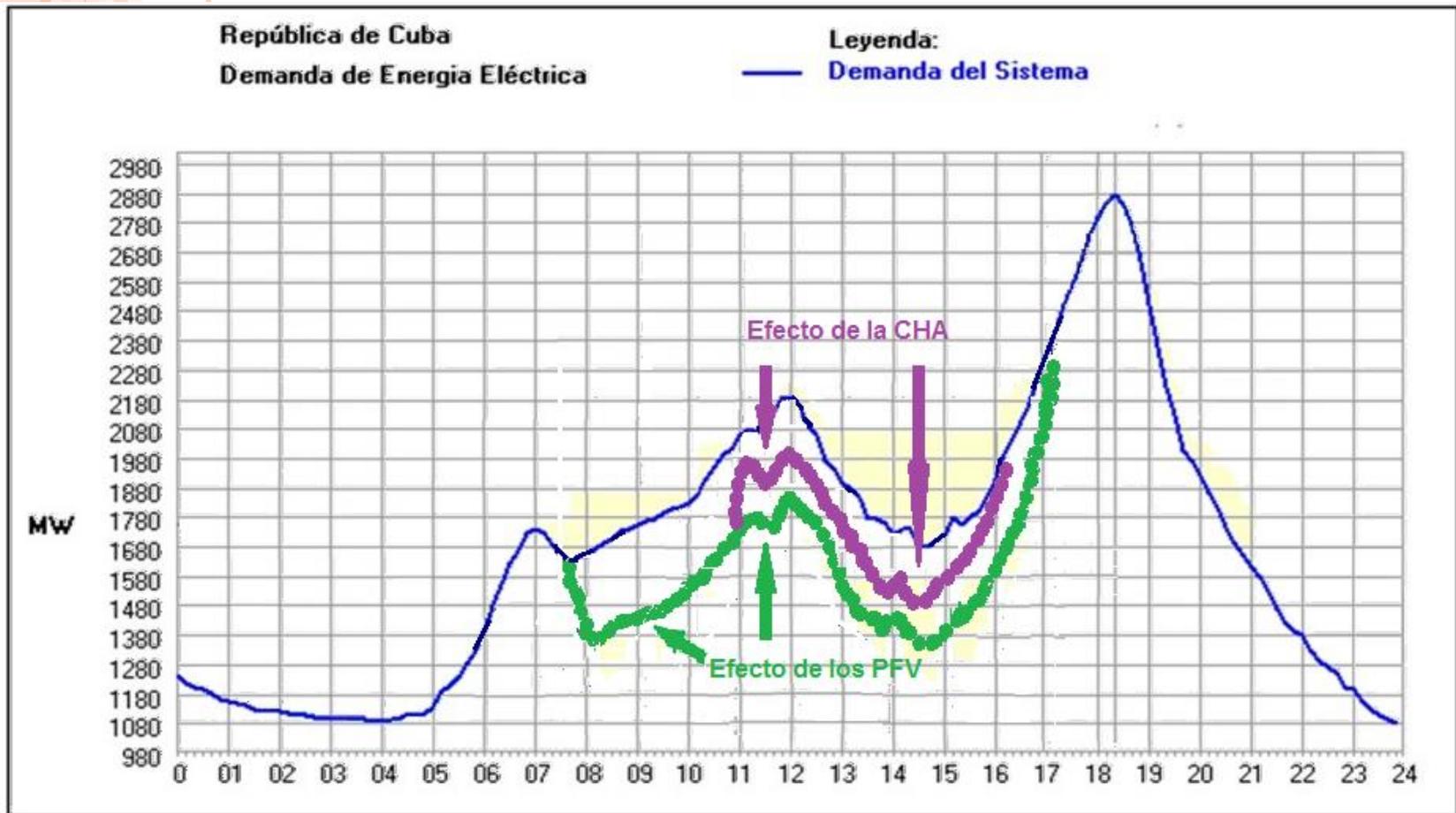
# Integración de las FRE

## TECNOLOGÍAS DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA.



# Integración de las FRE

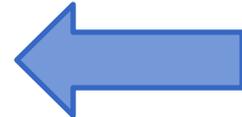
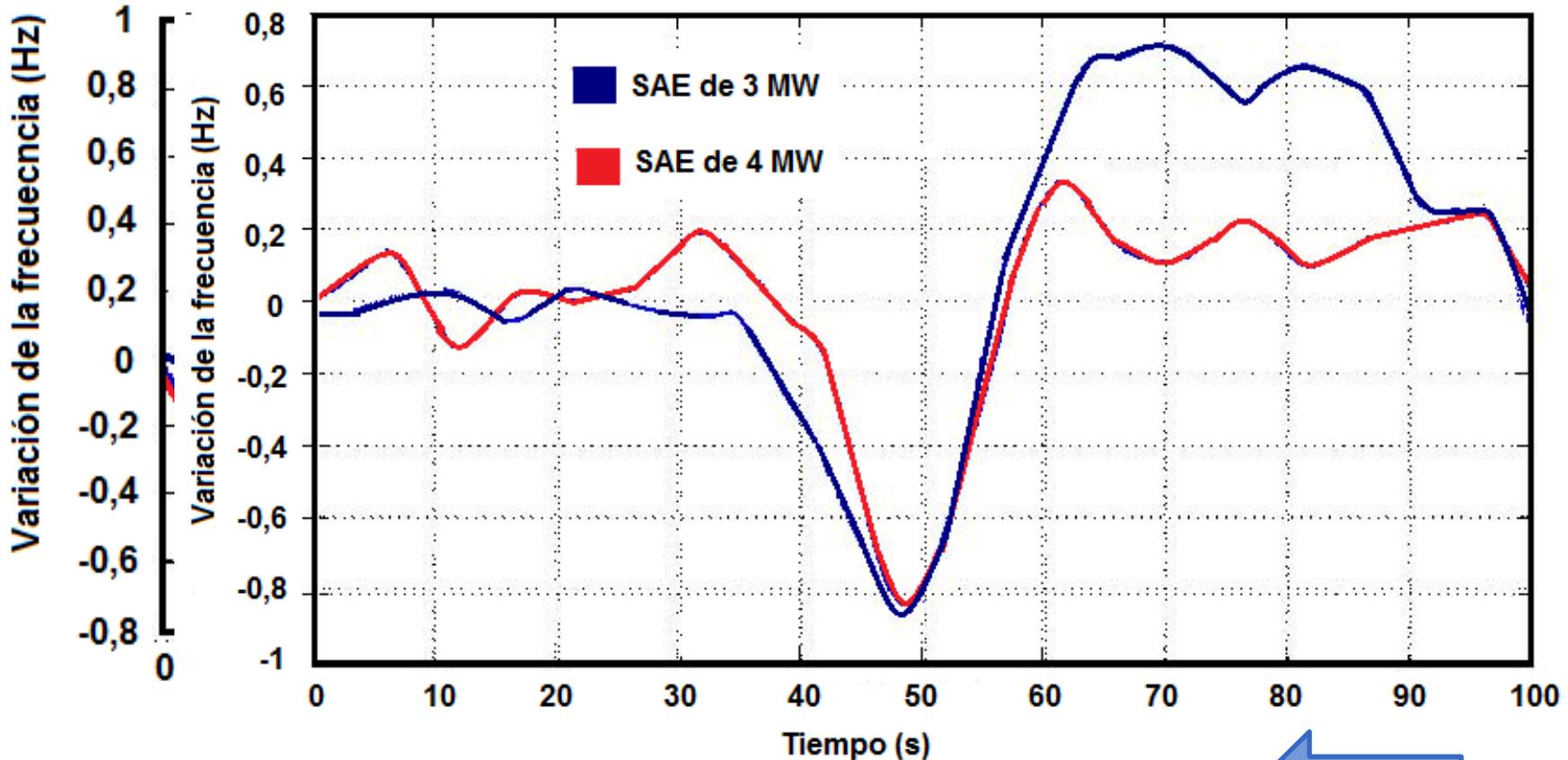
## EFECTO DE UNA HIDROACUMULADORA SOBRE EL TEMA DE LA DEMANDA NEGATIVA DE LA FV.



# Integración de las FRE

## EL USO DE SAE A BASE DE BATERÍAS EN EL SEN CUBANO.

Variación de frecuencia considerando la presencia de un SFV de 5 MW



# Variabilidad de la fuente.

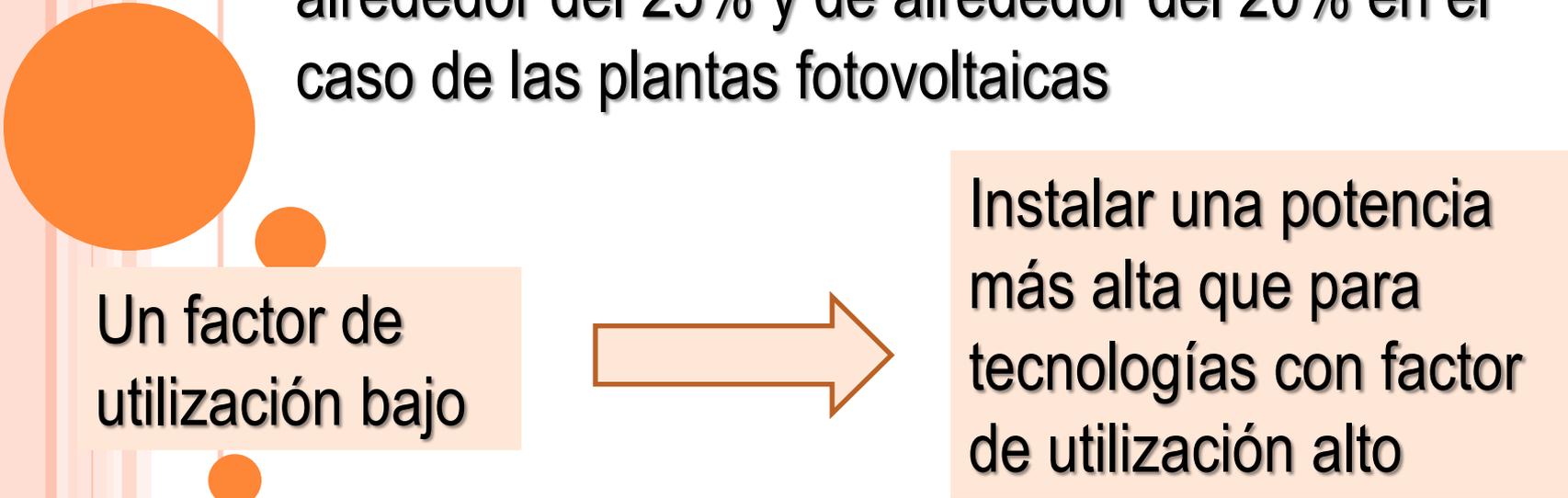
## IMPACTO.

- Una consecuencia de este comportamiento es que el factor de utilización de estas tecnologías, considerada como la relación entre la energía producida durante un periodo de tiempo determinado y la energía que se hubiera producido si la instalación hubiera generado a plena potencia durante el mismo periodo de tiempo, es bajo.

# Variabilidad de la fuente.

## IMPACTO.

- Evaluaciones realizadas de instalaciones en producción durante años, permite decir que en el caso de la generación eólica este factor es de alrededor del 25% y de alrededor del 20% en el caso de las plantas fotovoltaicas



Un factor de utilización bajo

Instalar una potencia más alta que para tecnologías con factor de utilización alto

# Variabilidad de la fuente.

## IMPACTO. UN PEQUEÑO EJEMPLO.

1633 MW a partir  
de energía eólica  
y fotovoltaica

CON

un factor de  
utilización medio  
del 25%



Representaría 408 MW

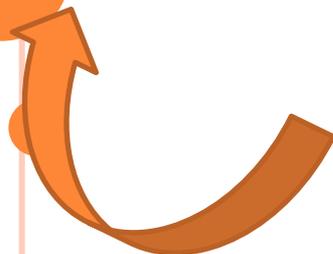


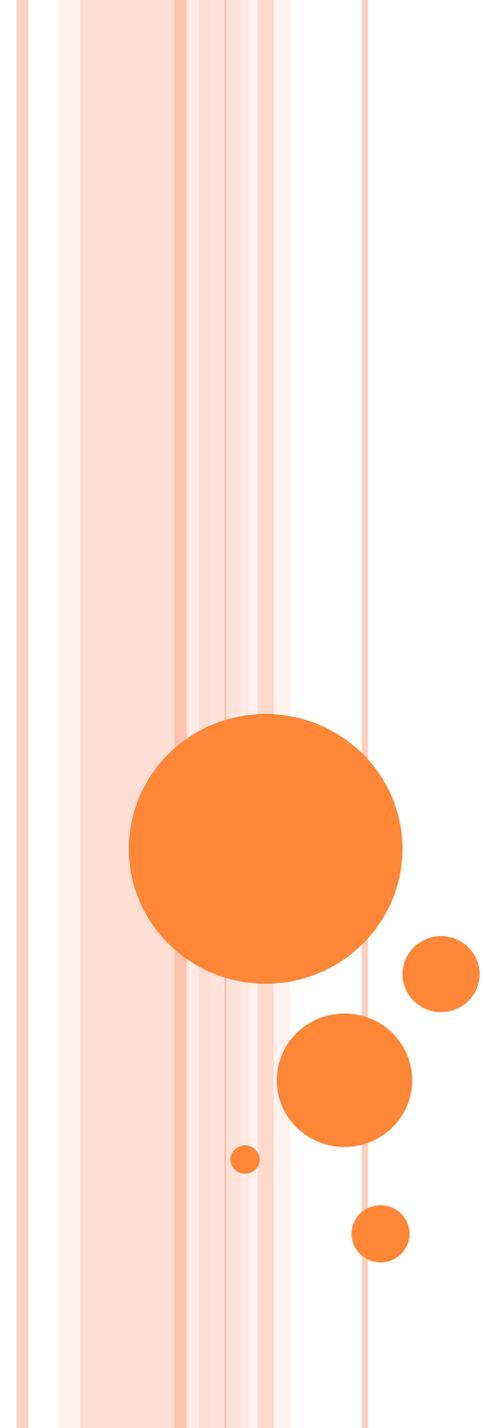
8% solamente de  
los 4614 MW de  
demanda en ese  
año



cumplir con el  
24% de la  
demanda total  
prevista para ese  
año

lograr un  
cubrimiento de  
1107 MW con el  
resto de las FRE





MUCHAS GRACIAS

PREGUNTAS?????