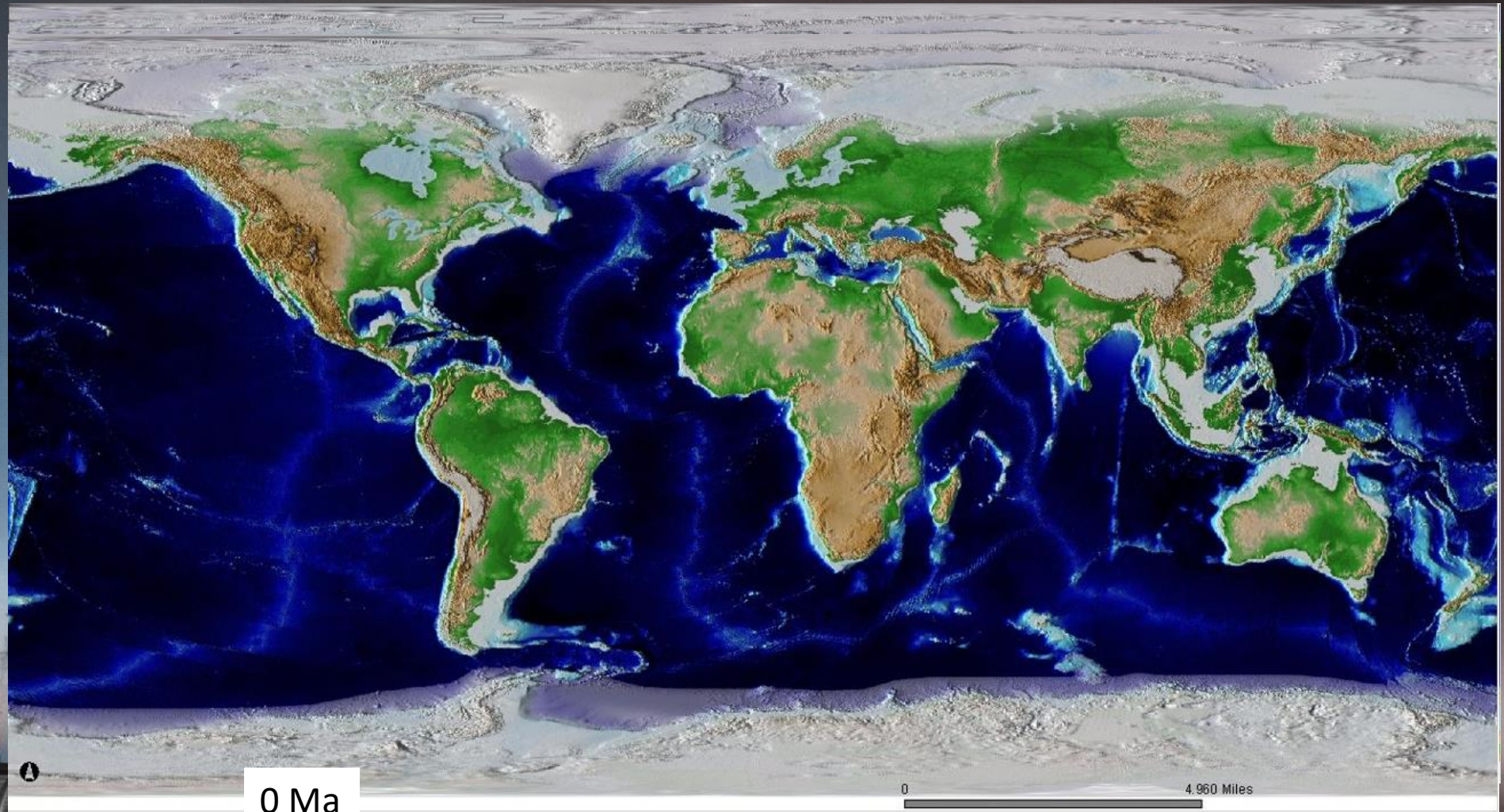
A large dam at night with power lines and towers in the background. The dam is illuminated with warm lights, and the sky is dark with a hint of twilight. The text is overlaid on the image.

Transición a energías renovables y la integración regional de la energía eléctrica: complementariedad de los recursos hidroeléctricos y solares de Paraguay y Chile

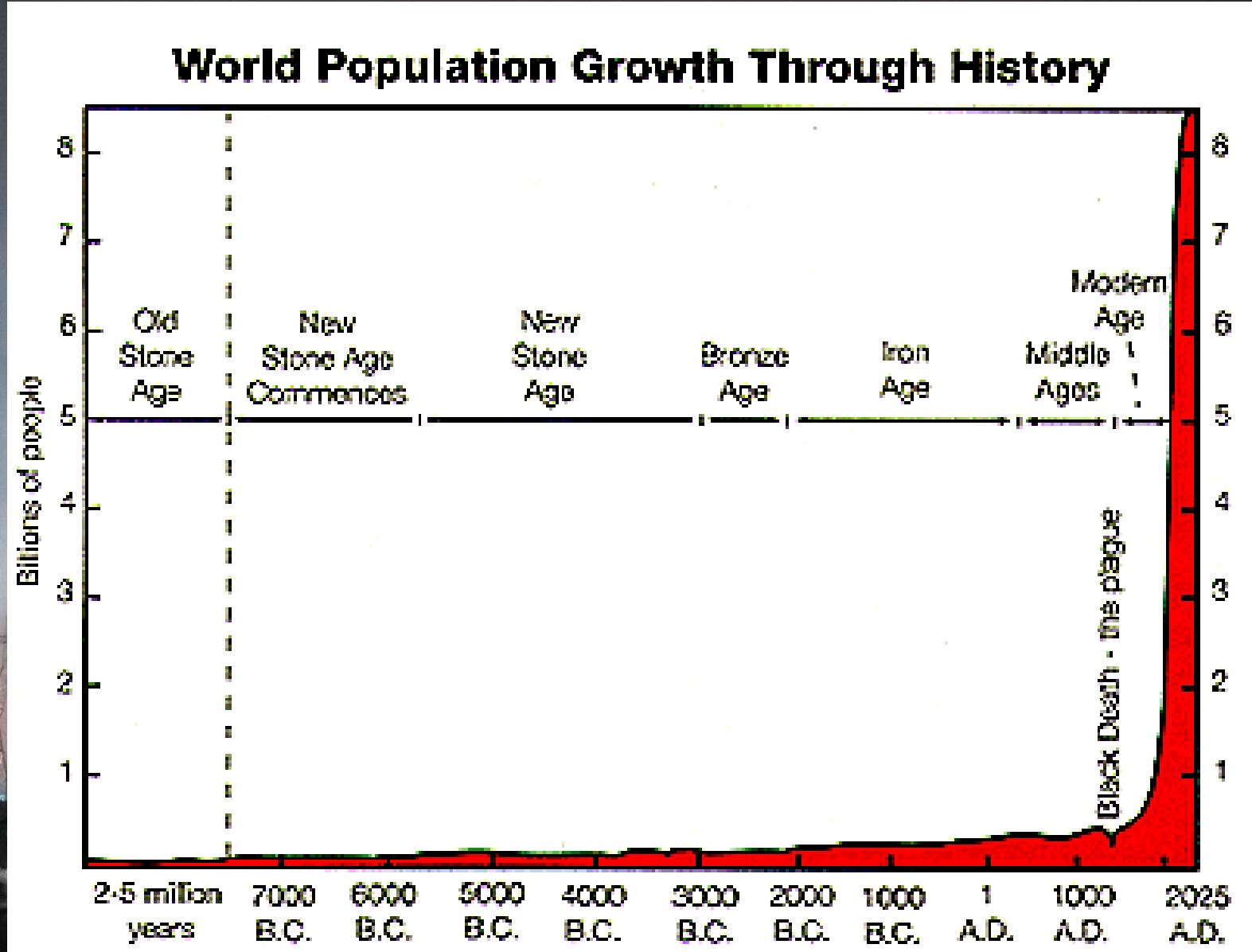
Worldwide Energy Network – Distinguished Lectures Program of SERC

Gerardo Blanco | @gerardoblancopy

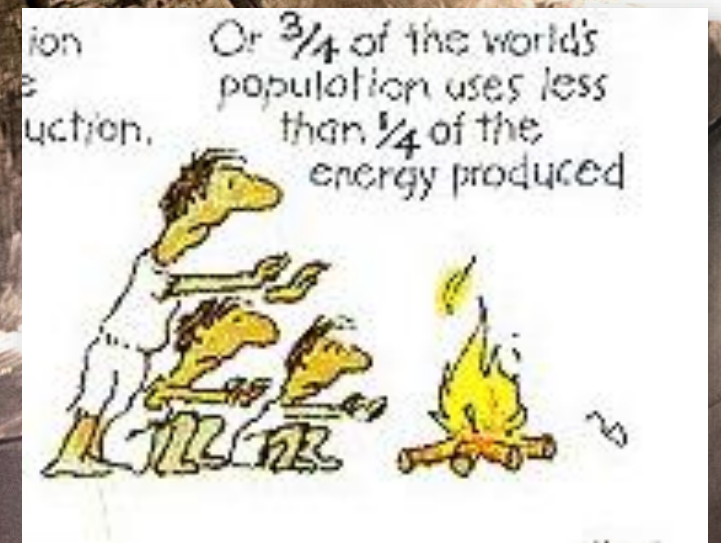
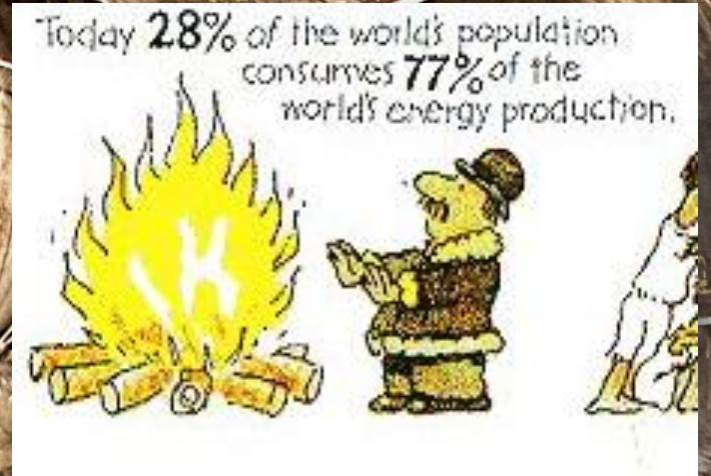
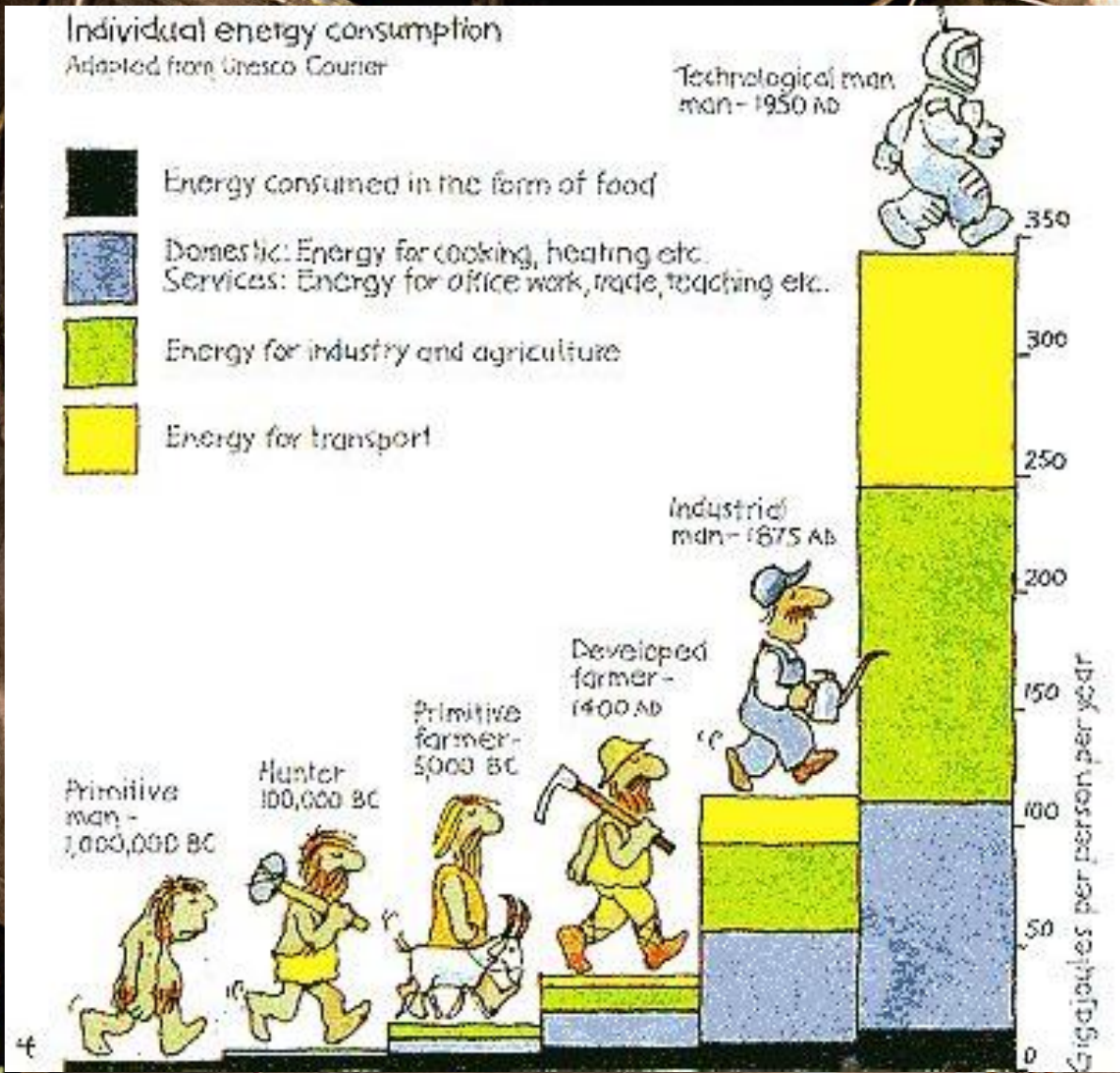
Un mundo en TRANSICIÓN



Un mundo en TRANSICIÓN



Un mundo en TRANSICIÓN





MEGA APARATO DE AIRE ACONDICIONADO A TODA POTENCIA

TIPO CON GORRO Y ABRIGO (HACE FRESQUITO)

GENTE CON BERMUDAS Y CAMISETA (ES PRIMAVERA)

¡¡¡PRRRRR!!!

* VISTO POR ESTE DIBUJANTE EN UN CENTRO TURÍSTICO

PARA UNOS SERÁ UNA ANÉCDOTA YO DIGO QUE ES UN SÍNTOMA

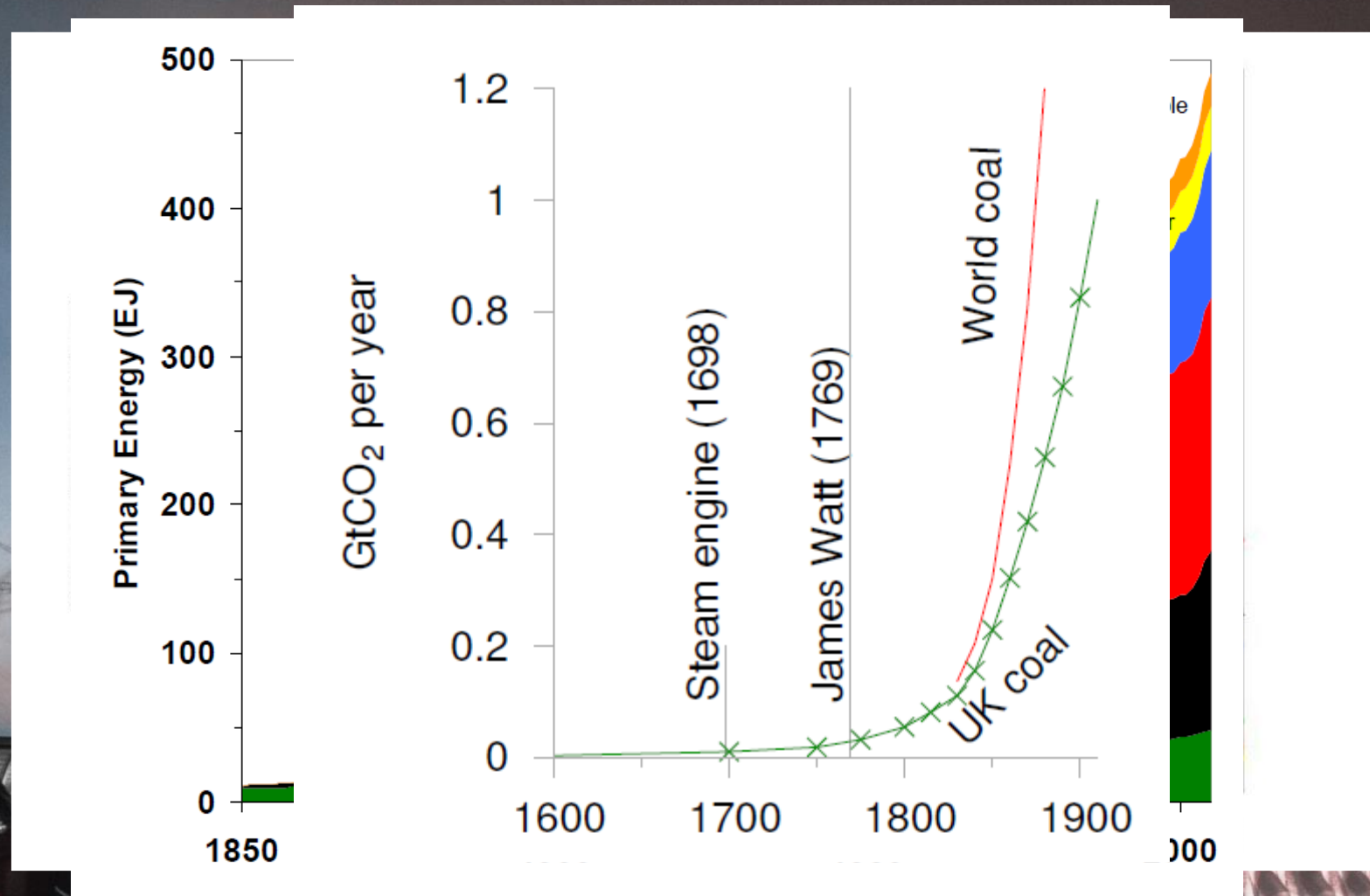
faro www.e-faro.info

PARA UNOS SERÁ UNA ANÉCDOTA. YO DIGO QUE ES UN SÍNTOMA

faro / c-DeCol
www.e-faro.info

Transición Energética

- Evolución Tecnológica

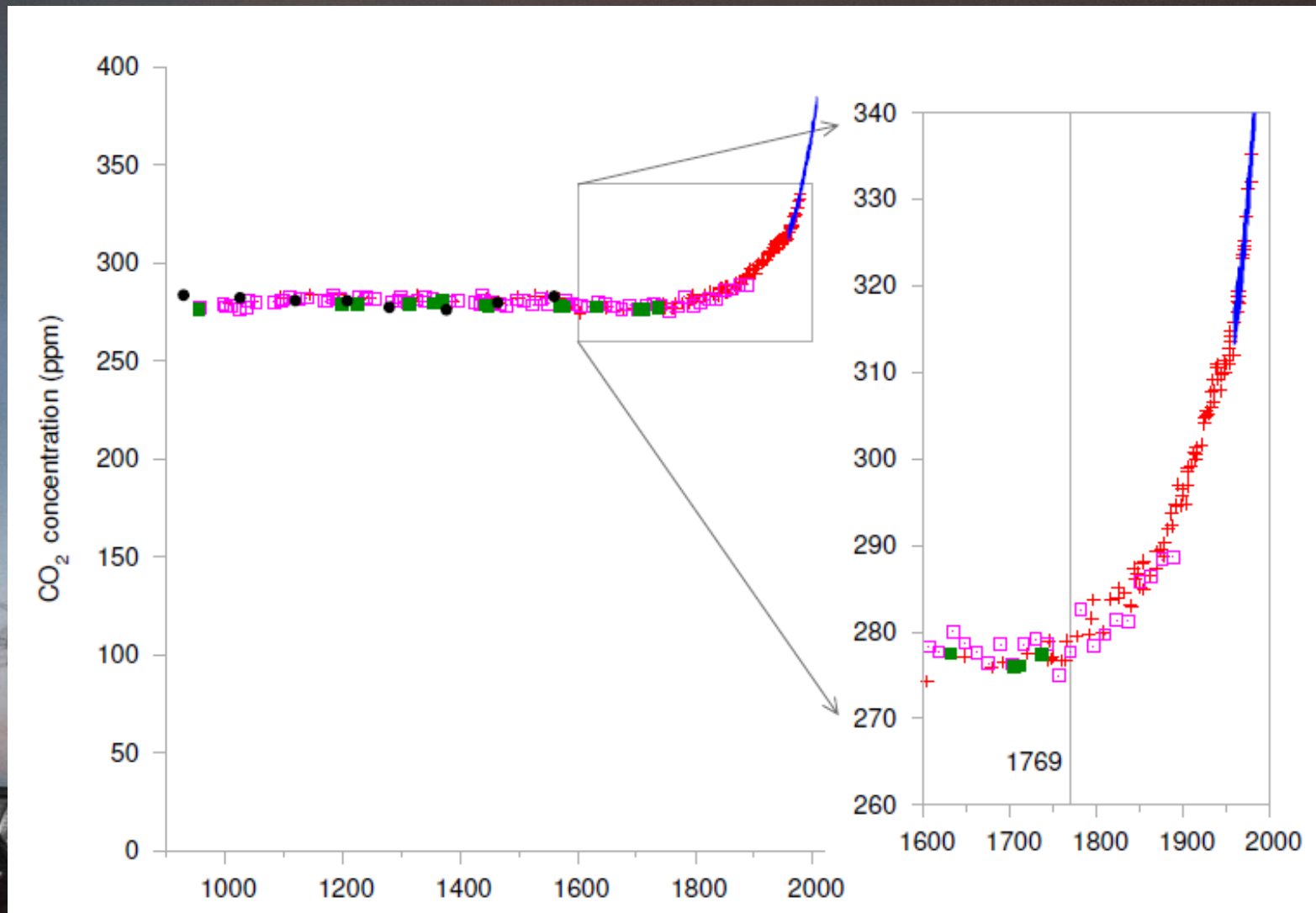


Transición Energética

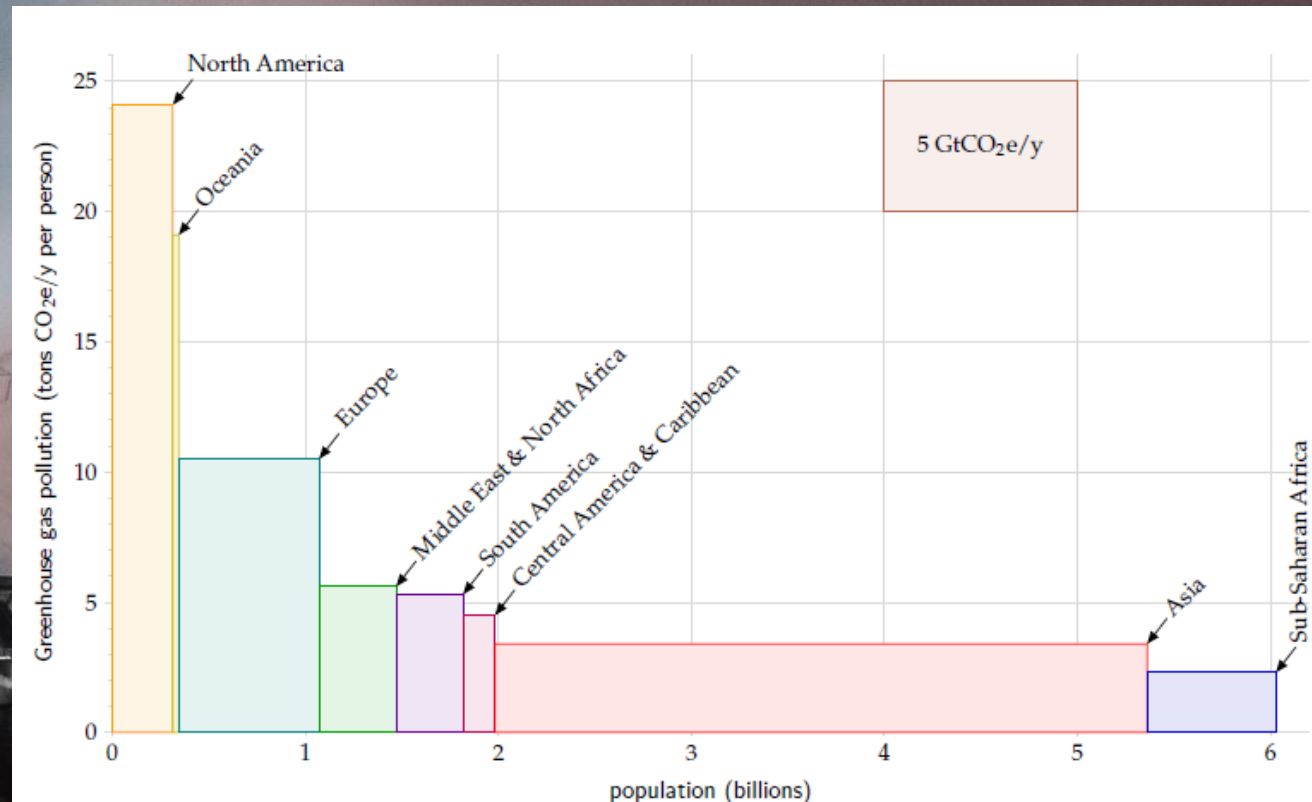
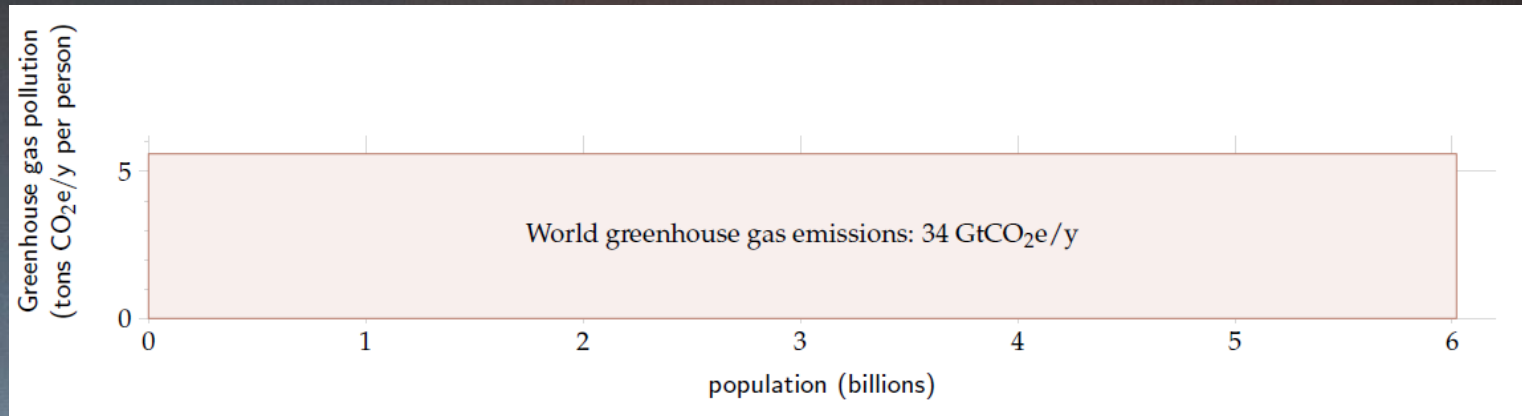
- Evolución de Prácticas y Costumbres (errores de mercado)



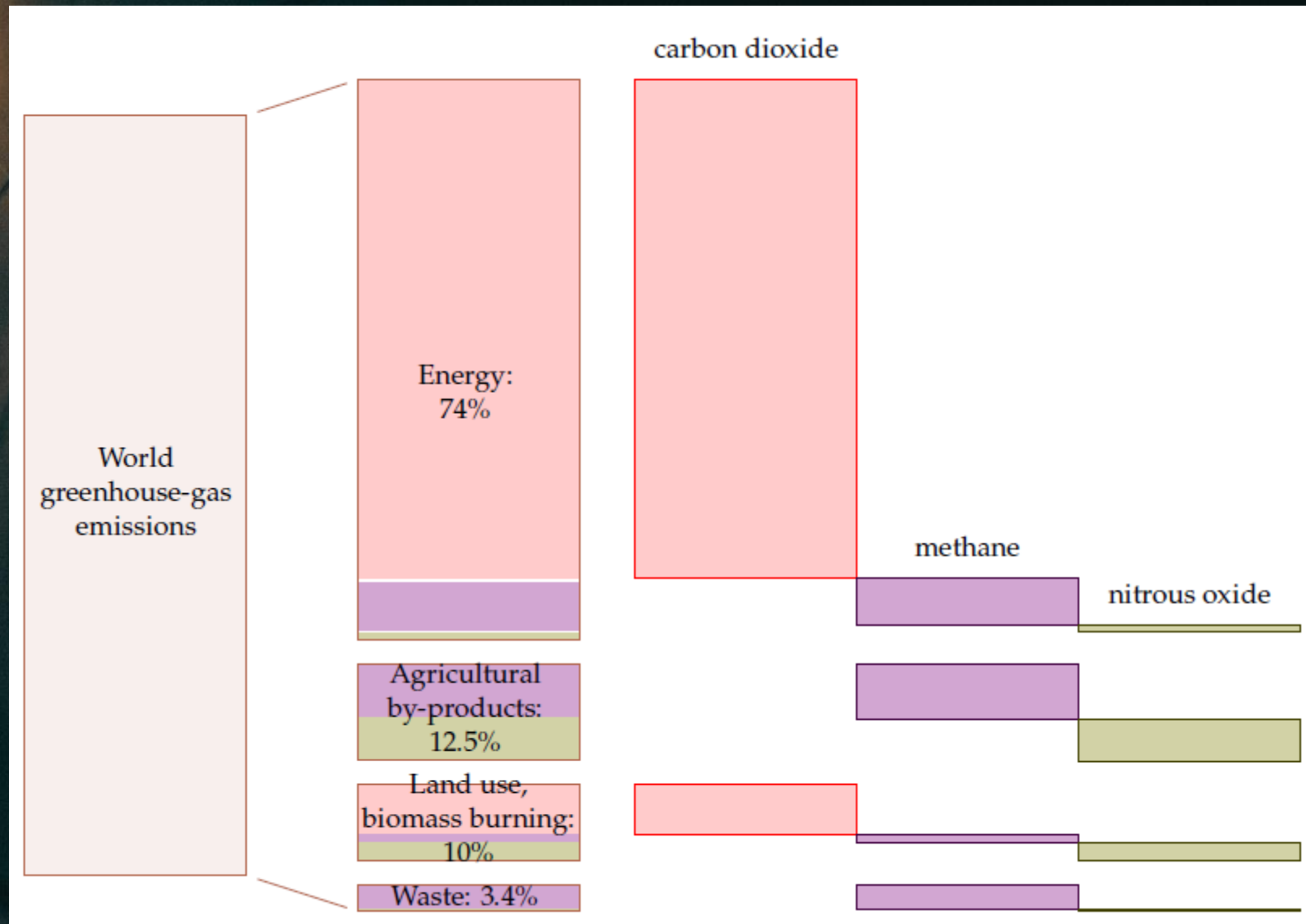
Energía y Cambio climático



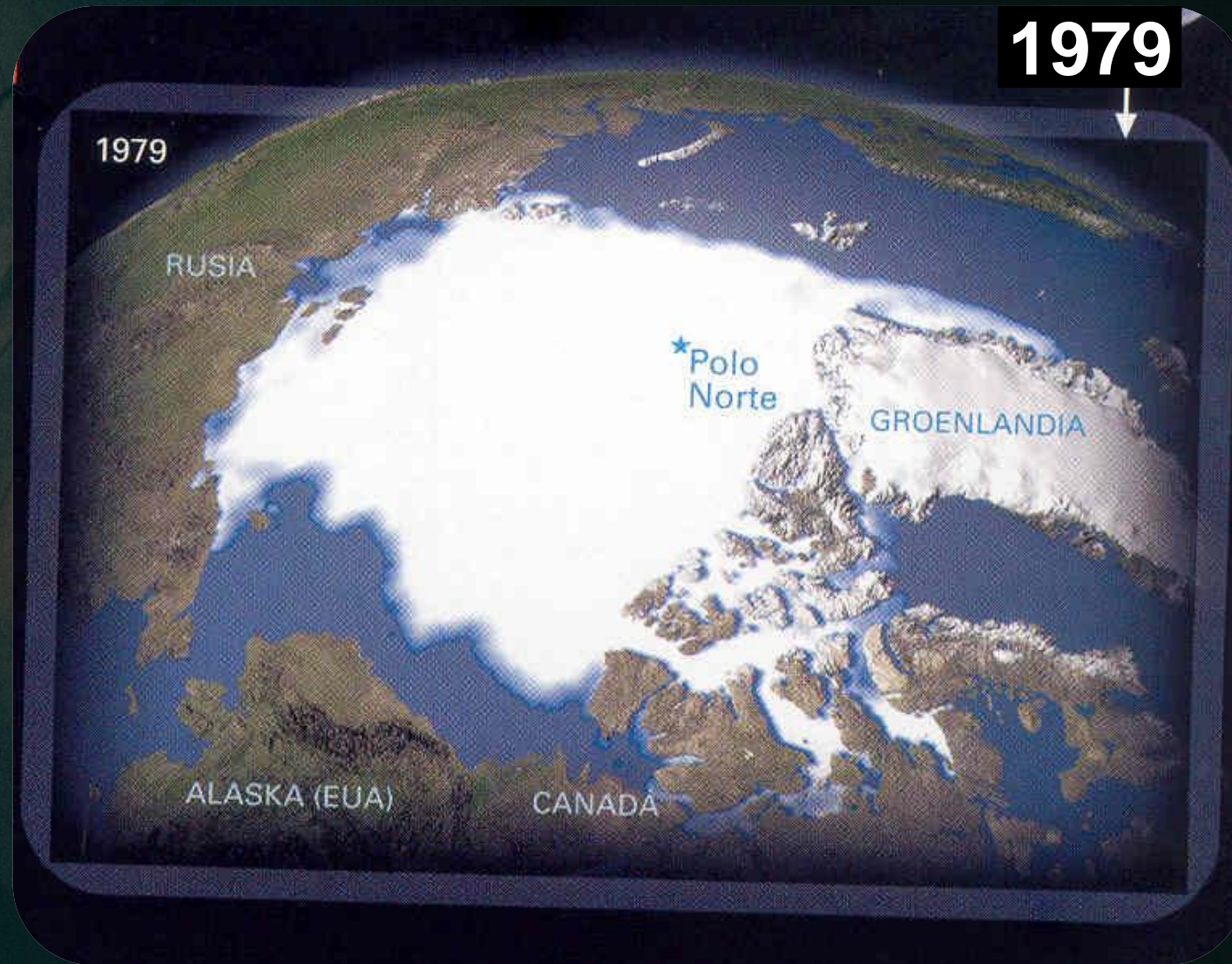
Energía y Cambio climático



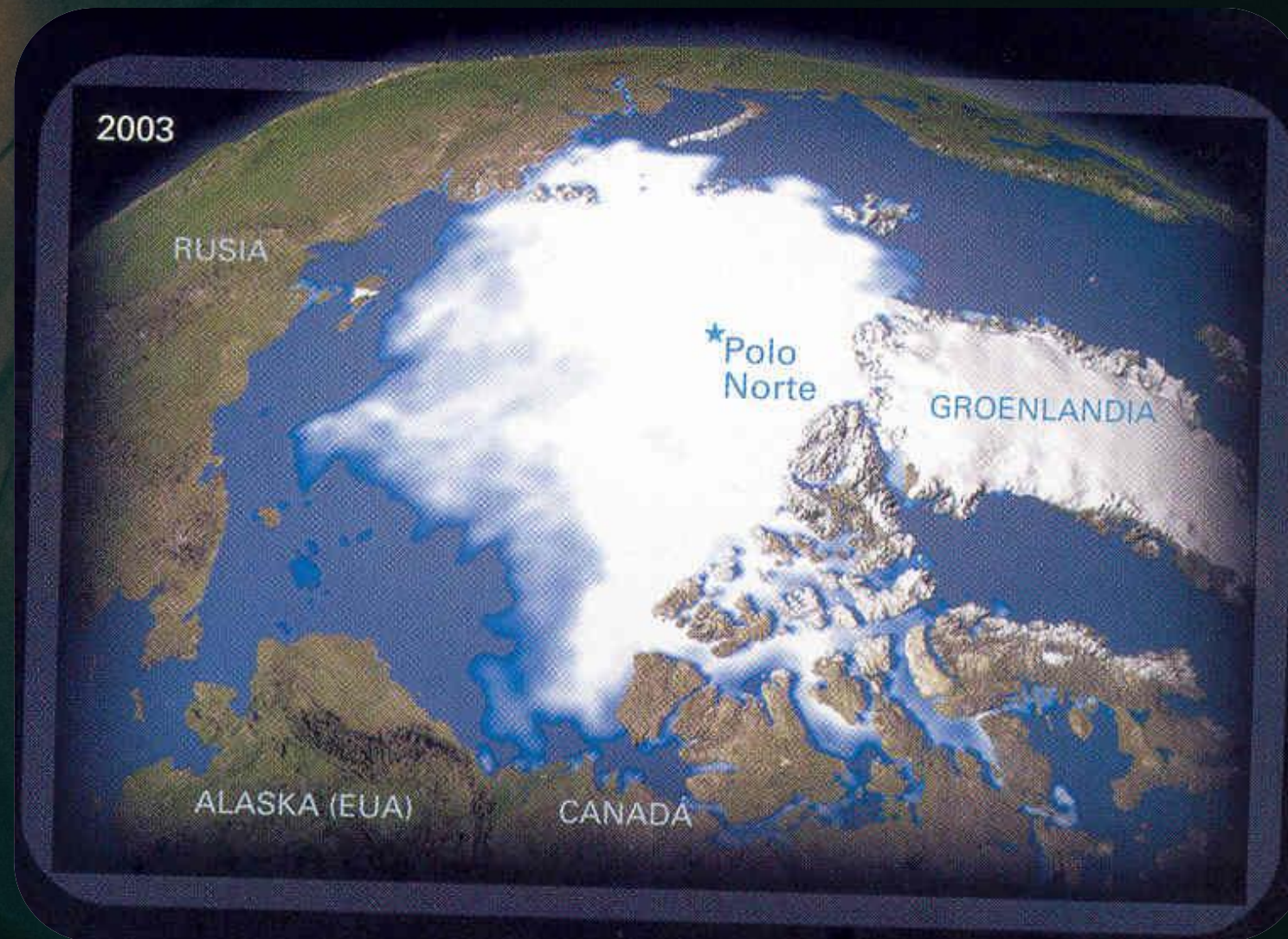
Energía y Cambio climático



Energía y Cambio climático



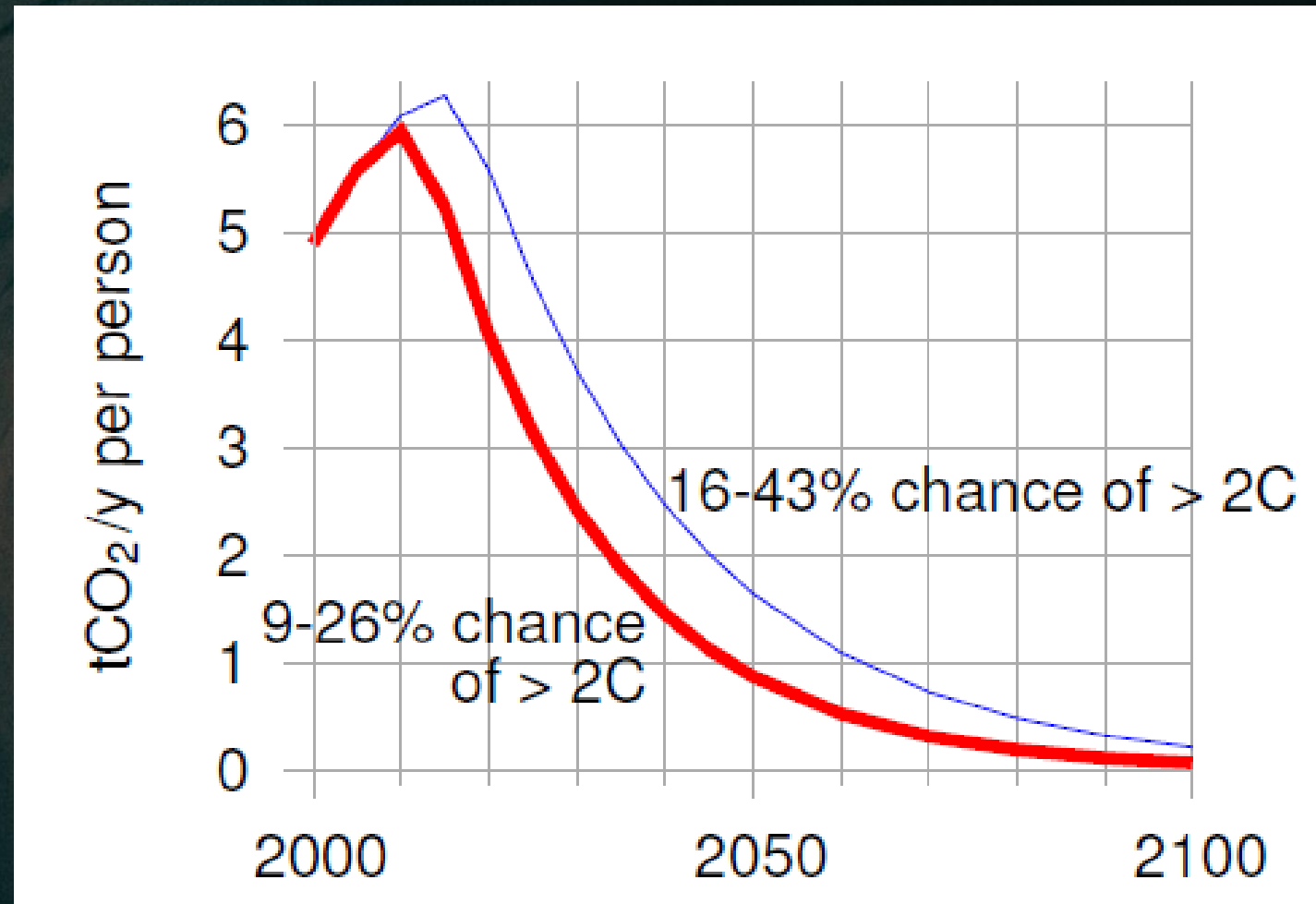
Energía y Cambio climático



Energía y Cambio climático

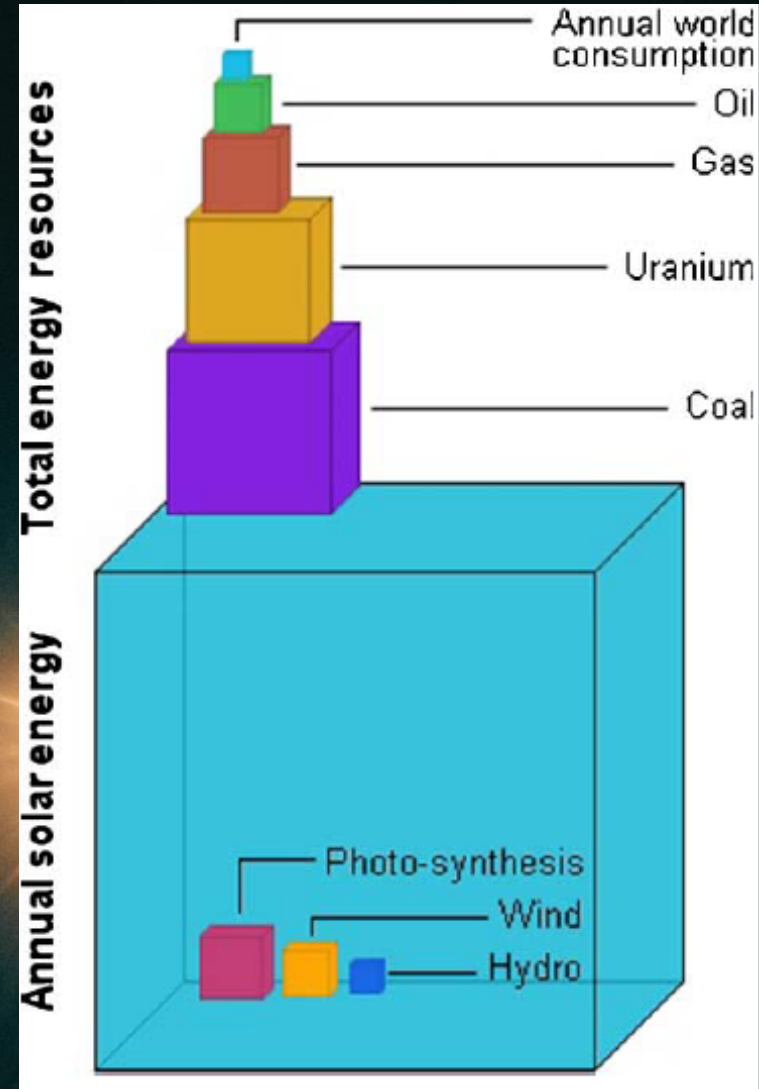


Energía y Cambio climático



Energía y Cambio climático

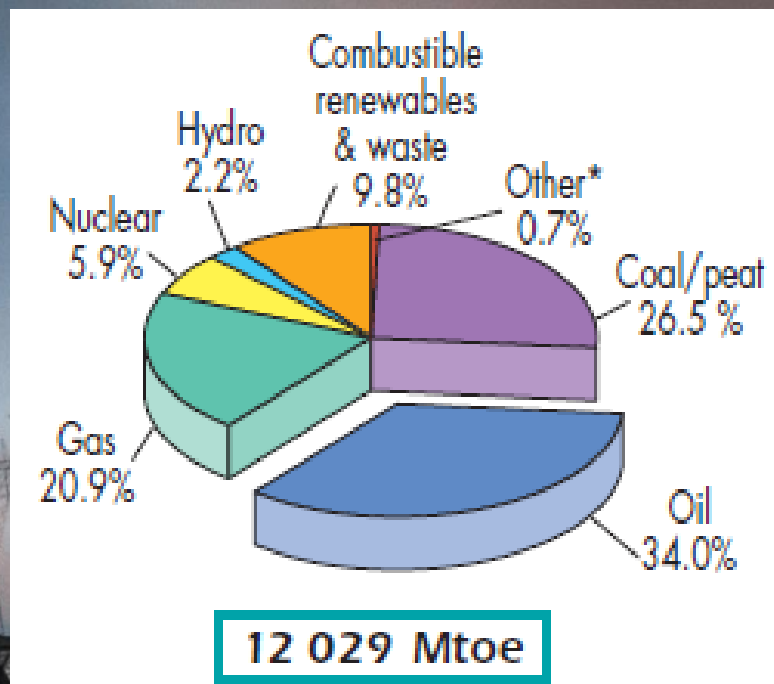
Balance energético mundial anual



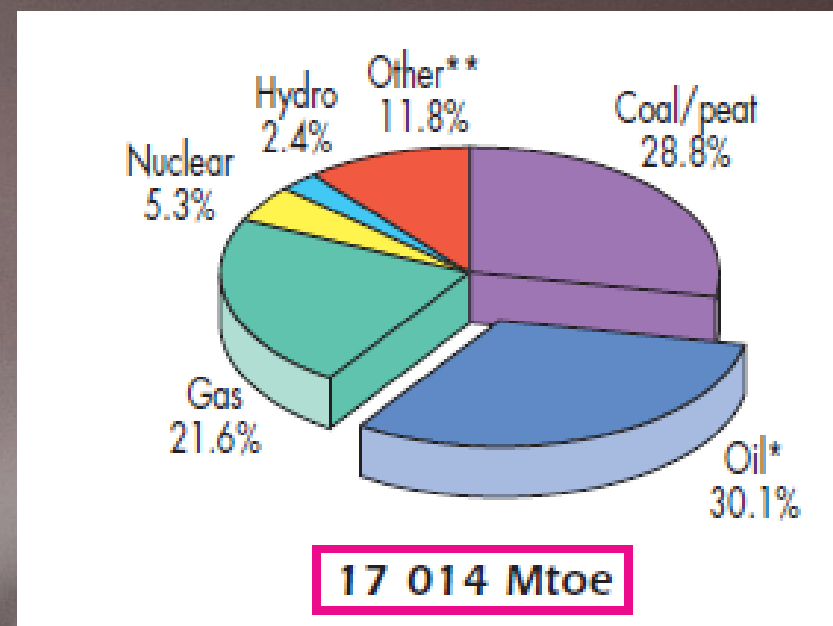
Energía y Cambio climático

Dependencia de combustibles fósiles

Oferta total de energía primaria
2007 - Mundo

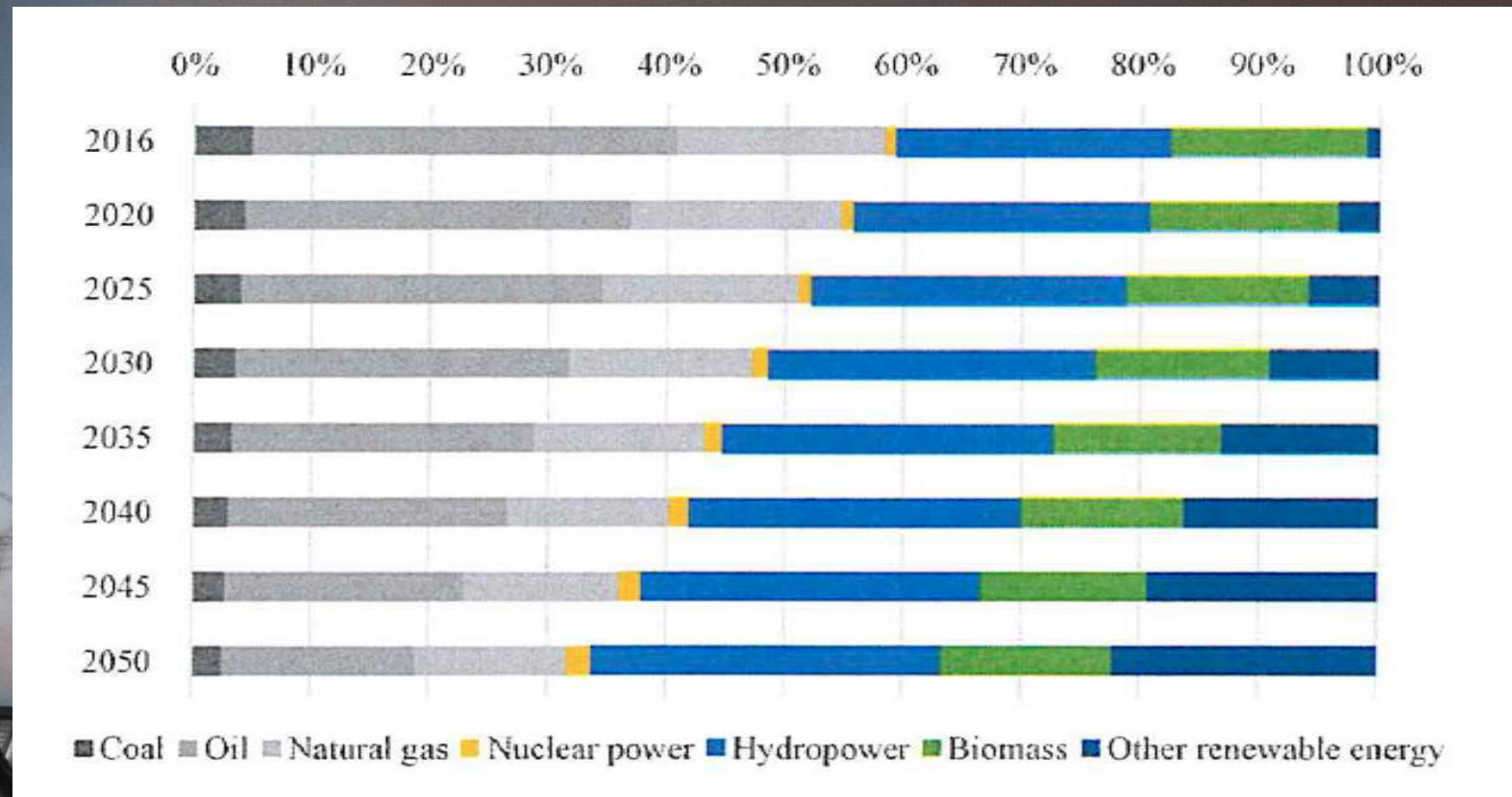


Oferta total de energía primaria
2030 - Mundo



Energía y Cambio climático

Consumo de energía em Sudamérica



Fuente; GEIDCO, 2019

Energía y Cambio climático

1972: CONFERENCIA DE LAS NNUU SOBRE EL MEDIO AMBIENTE HUMANO – CUMBRE DE LA TIERRA

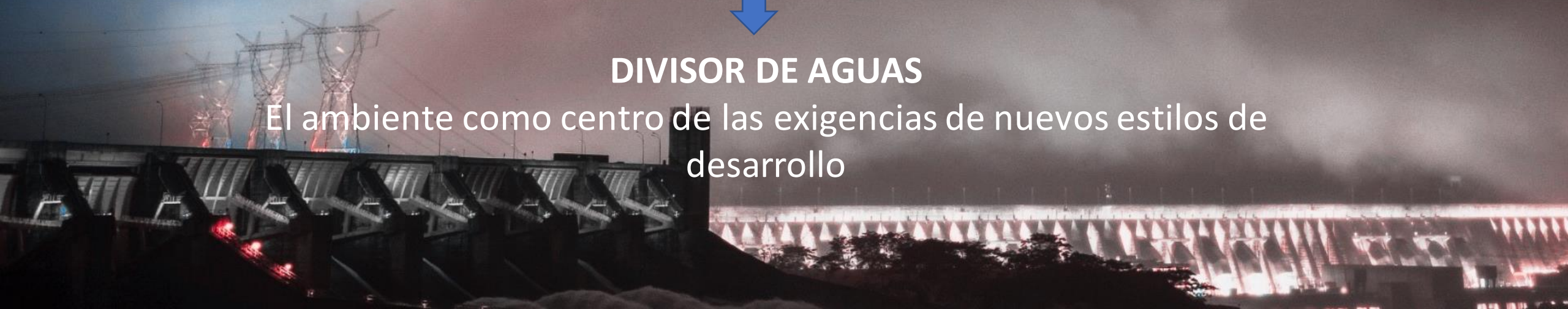
Declaración de Estocolmo:

Las generaciones presentes como las futuras tengan reconocidos como derecho fundamental la vida en un ambiente no degradado



DIVISOR DE AGUAS

El ambiente como centro de las exigencias de nuevos estilos de desarrollo



Energía y Cambio climático

1992: CONFERENCIA DE LAS NNUU SOBRE EL MEDIO AMBIENTE Y EL DESARROLLO

RESPUESTA DE LA COMUNIDAD INTERNACIONAL:



PROGRAMA 21:

- Económica y social
- Conservación y manejo de los recursos naturales
- Fortalecimiento del papel de los grupos
- Medios de implementación

✓ Gobiernos

✓ Organismos de Desarrollo

✓ Organizaciones de las NNUU

✓ Grupos y sectores con efectos sobre el ambiente

AMBIENTE: UN ASPECTO PRIORITARIO DE LOS PROYECTOS Y LAS INSTITUCIONES

Energía y Cambio climático

Informe del Grupo I del IPCC Febrero 2007

- Sería amenaza para el ambiente global
- Tendencia inequívoca
- Impacto negativo en salud, seguridad alimenticia, actividades económicas, disponibilidad de agua y otros recursos naturales, infraestructura física y medio natural
- Incremento de temperaturas promedio de aire y océanos, derretimiento de hielos permanentes y nieve, aumento medio del nivel del mar

Energía y Cambio climático

Advertencias del informe presentado por el IPCC

Para fines de este siglo:

- ✓ Las temperaturas aumentarían de 1,8° a 4° centígrados con respecto a las últimas dos décadas.
- ✓ El nivel de los océanos podría subir de 18 a 59 cm.
- ✓ Aumentarán los ciclones tropicales, los tifones y los huracanes.
- ✓ Las olas de calor y las precipitaciones serán más frecuentes.
- ✓ Las heladas y los días y noches fríos serán cada vez menos frecuentes.
- ✓ El derretimiento de hielos en la Antártida y Groenlandia podría elevar en el largo plazo el nivel de las aguas de los océanos, poniendo en peligro grandes ciudades costeras e islas del Caribe y el Pacífico.

En los próximos 20 años la temperatura aumentará 0,2° cada década.

Energía y Cambio climático

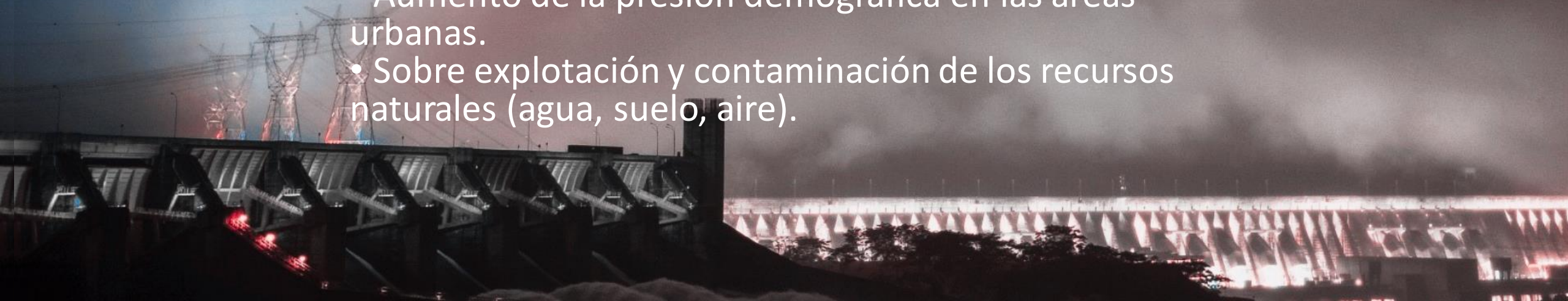
Vulnerabilidad *de AL&C*

- Retroceso acelerado de glaciares, especialmente en las zonas intertropicales.
- Impactos en la generación hidroeléctrica (por sequías intensas y desaparición de glaciares).
- Aumentos en la frecuencia de precipitaciones intensas e inundaciones en Centroamérica y algunas regiones de América del Sur.
- Incrementos de la morbilidad y mortalidad relacionada con eventos climáticos adversos.
- Aumentos de incendios forestales.
- Pérdida de biodiversidad en Centroamérica.
- Desplazamiento de actividades agropecuarias a zonas de mayor altura.
- Expansión de plagas y enfermedades contagiosas.

Energía y Cambio climático

De forma directa o indirecta, la mayoría de ellas tienen vinculación con el Sector Energético

- Cambios en factores no climáticos que incrementan la vulnerabilidad de la región, se destacan:
 - Tendencias crecientes de las tasas de deforestación.
 - Intensificación de los procesos de degradación de suelos y desertificación.
 - Aumento de la presión demográfica en las áreas urbanas.
 - Sobre explotación y contaminación de los recursos naturales (agua, suelo, aire).



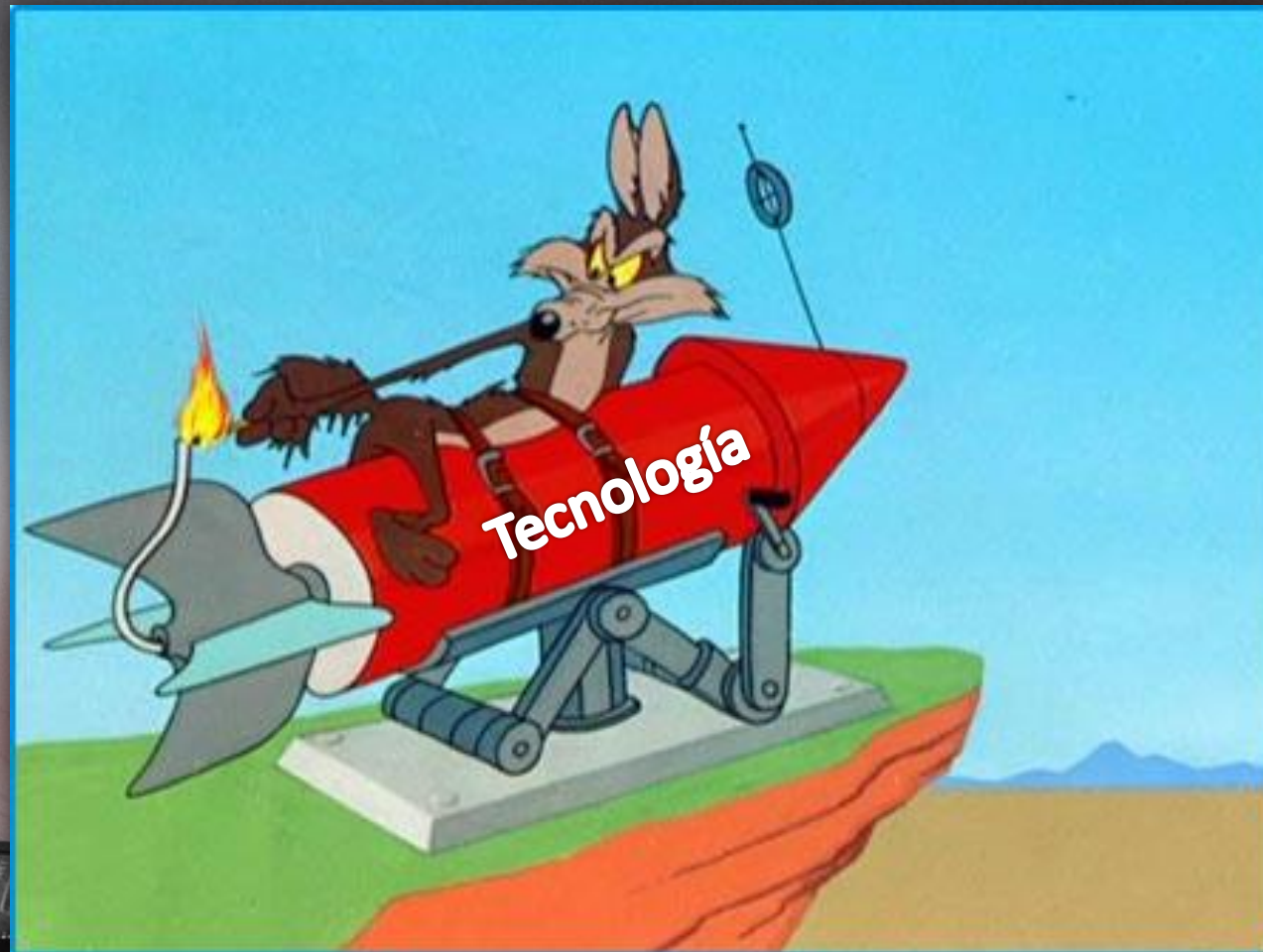
Energía y Cambio climático

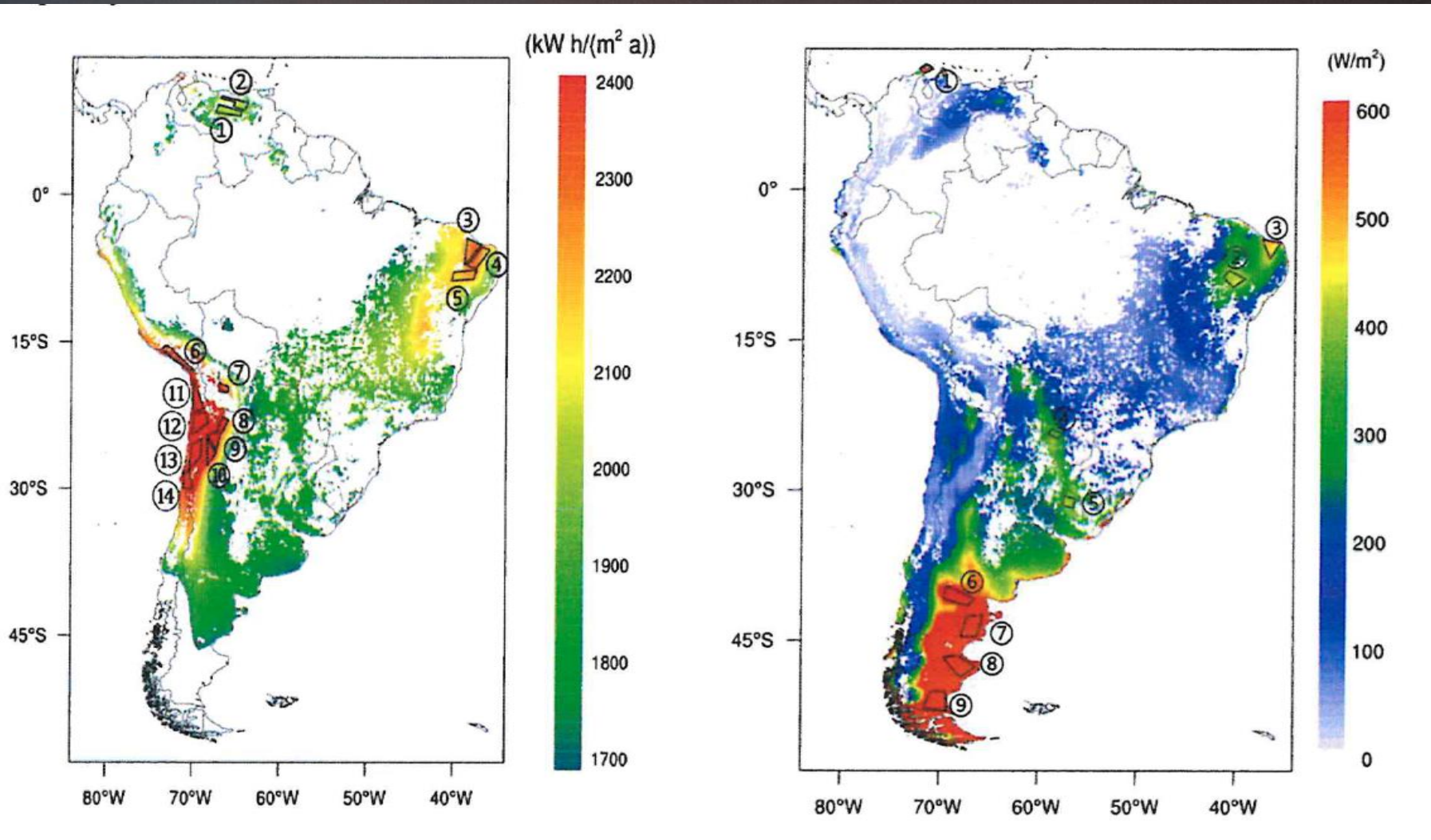
Demanda
Energética

Oferta
Energética



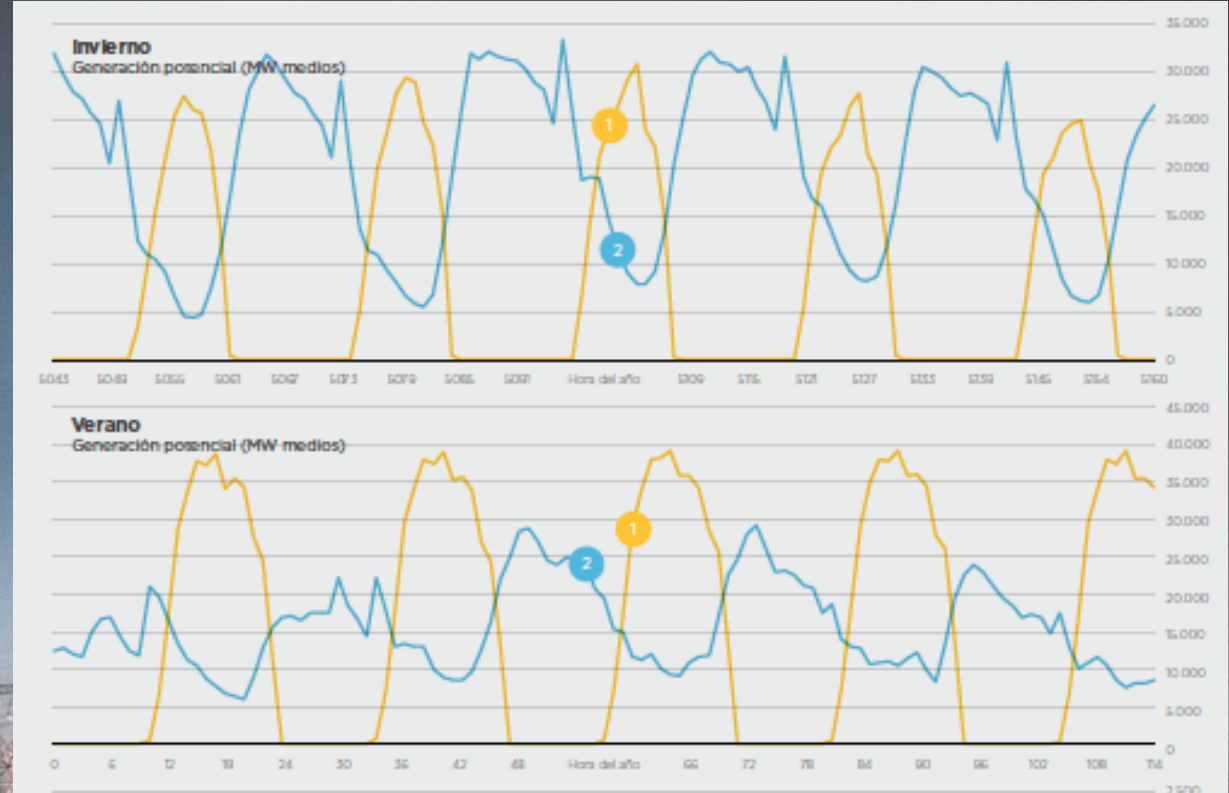
Transiciones socio-técnicas



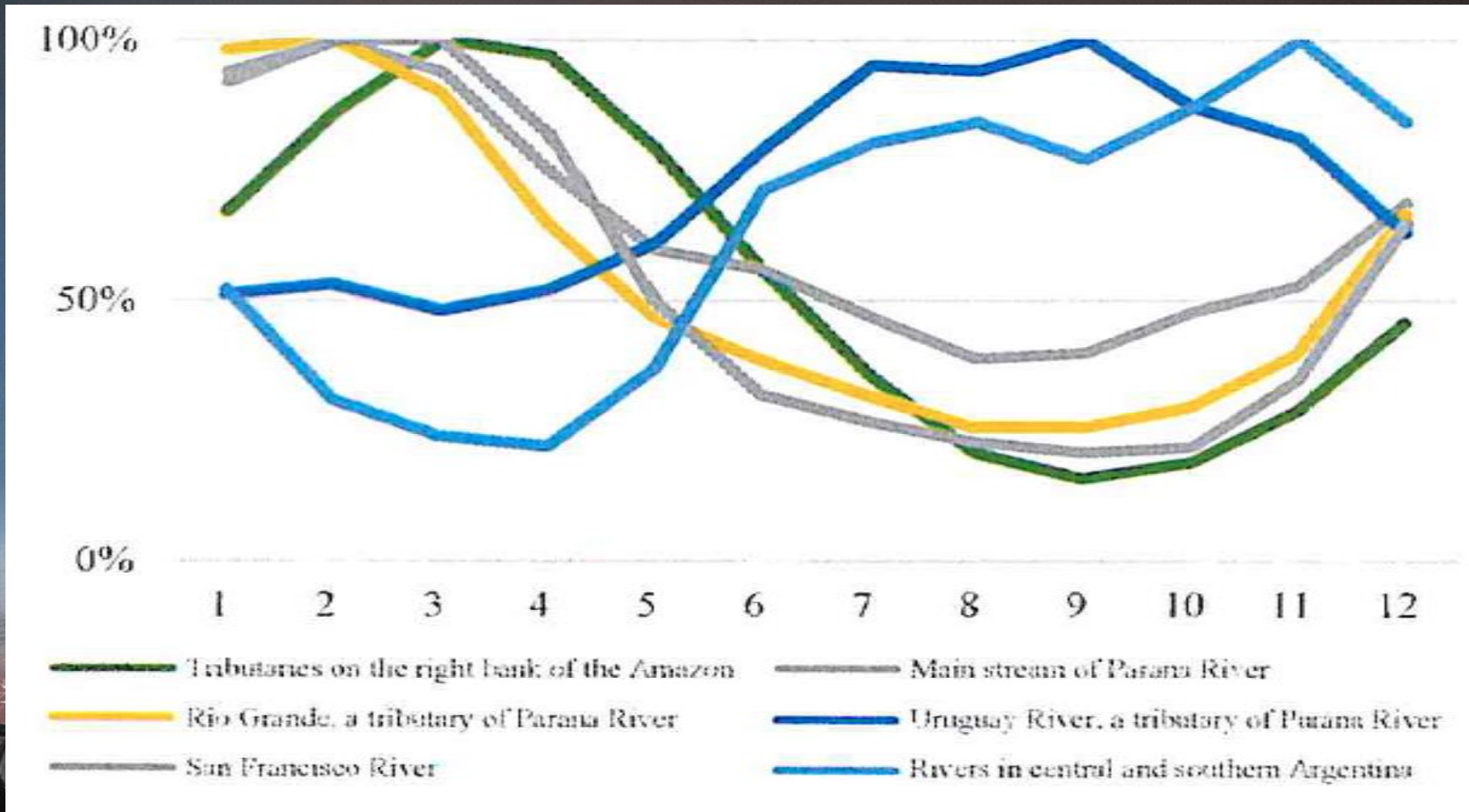


Fuente; GEIDCO, 2019

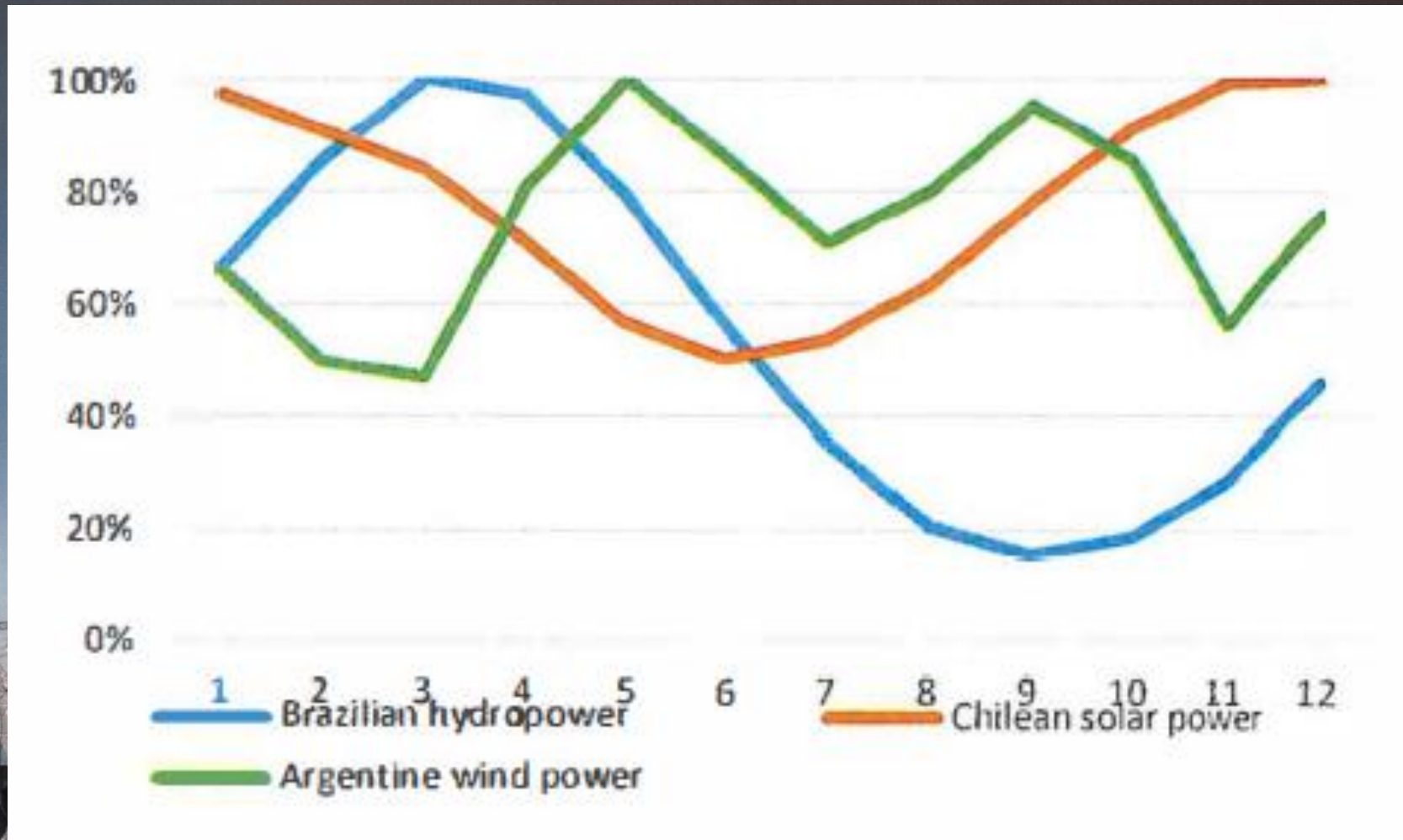
power grid of eastern and western South America



Annual Variation of Average Discharge of Main Rivers in South America

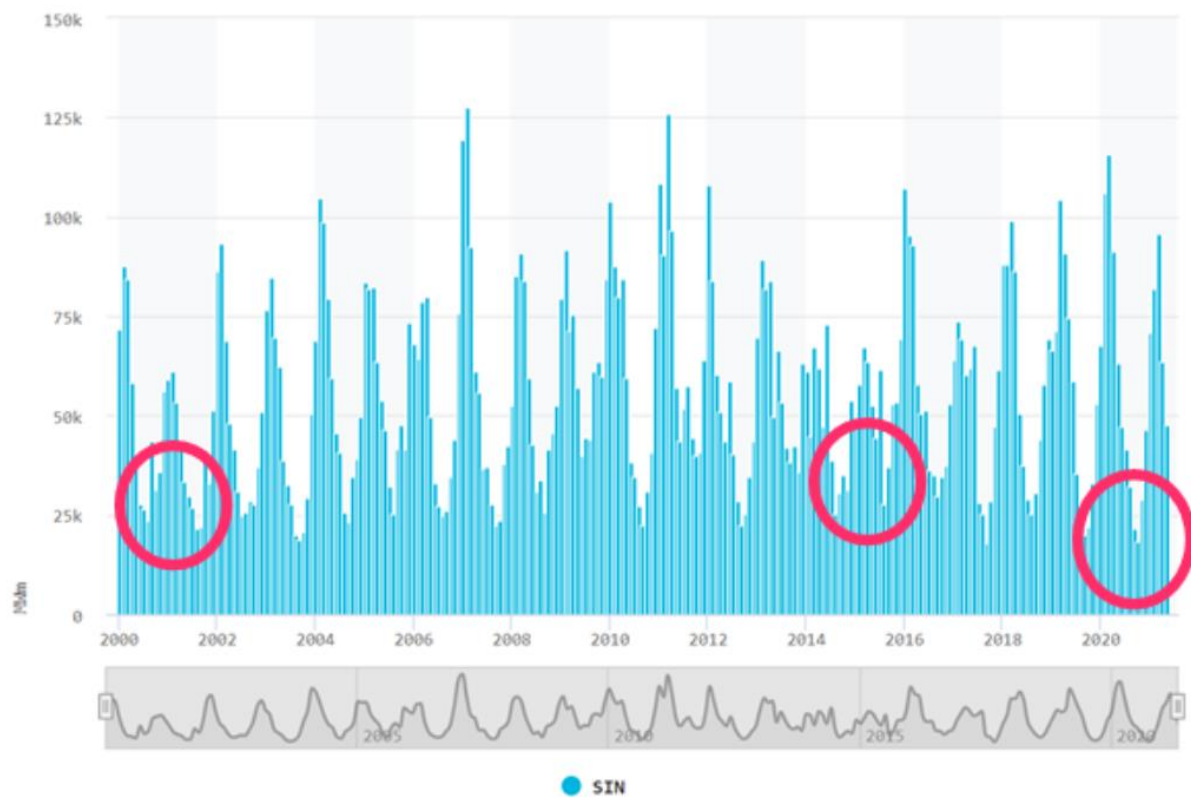


Annual Variation of Average Discharge of Main Rivers in South America

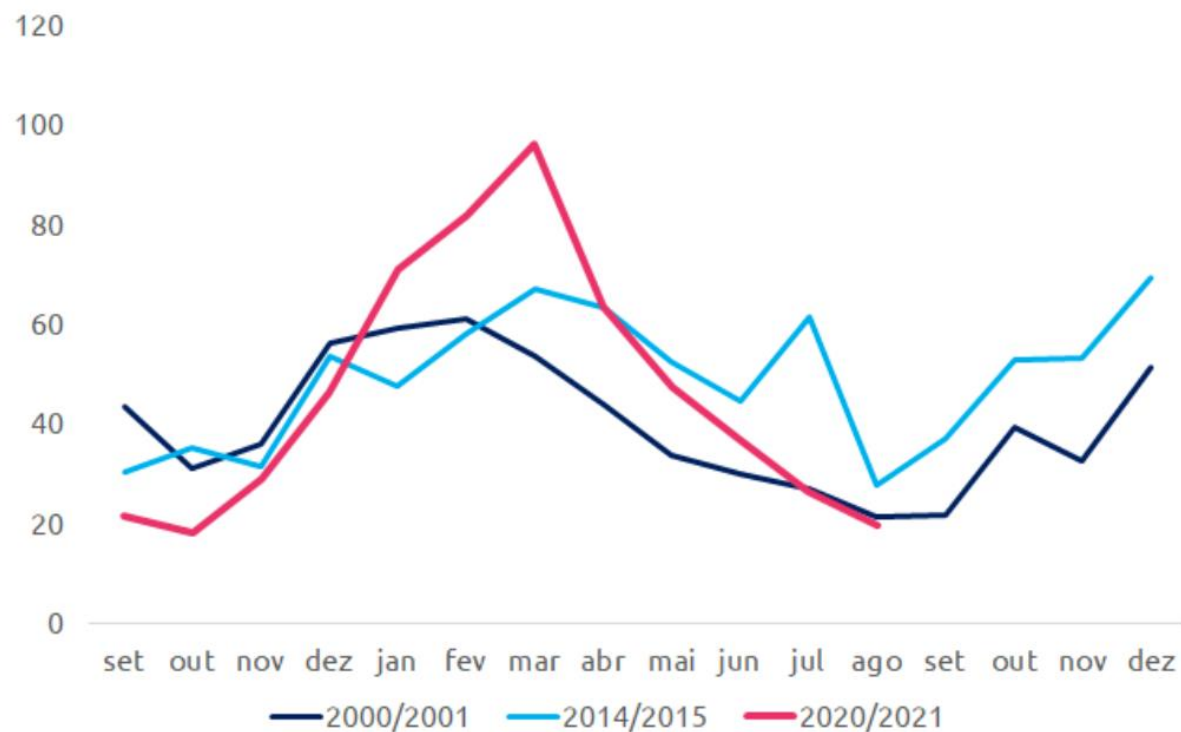


Fuente; GEIDCO, 2019

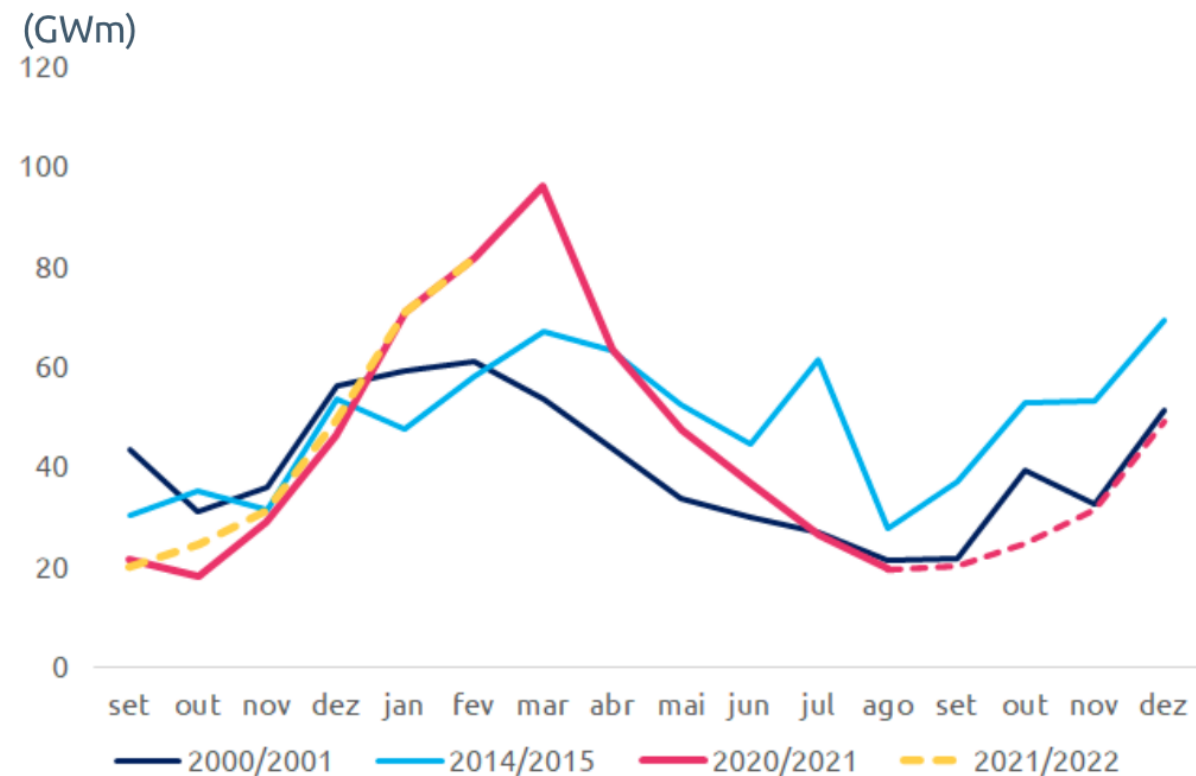
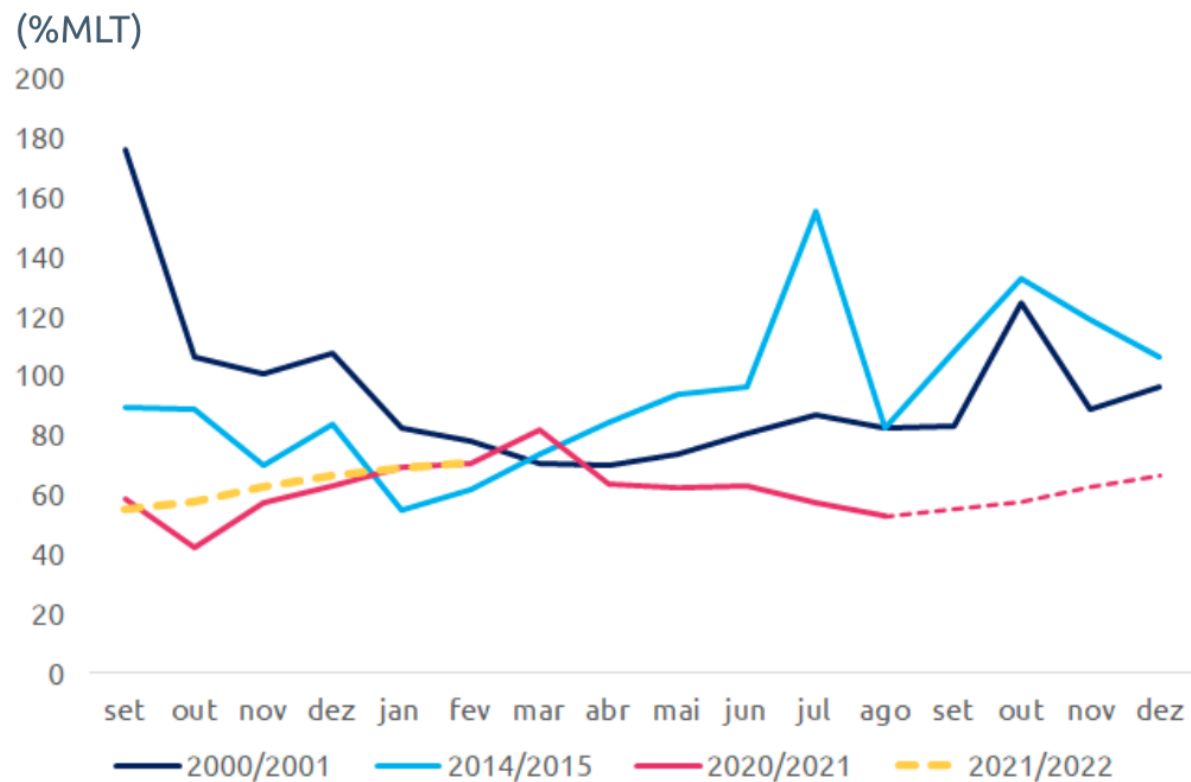
Histórico Afluência - SIN



(GWm)



Energia Natural Afluente - SIN

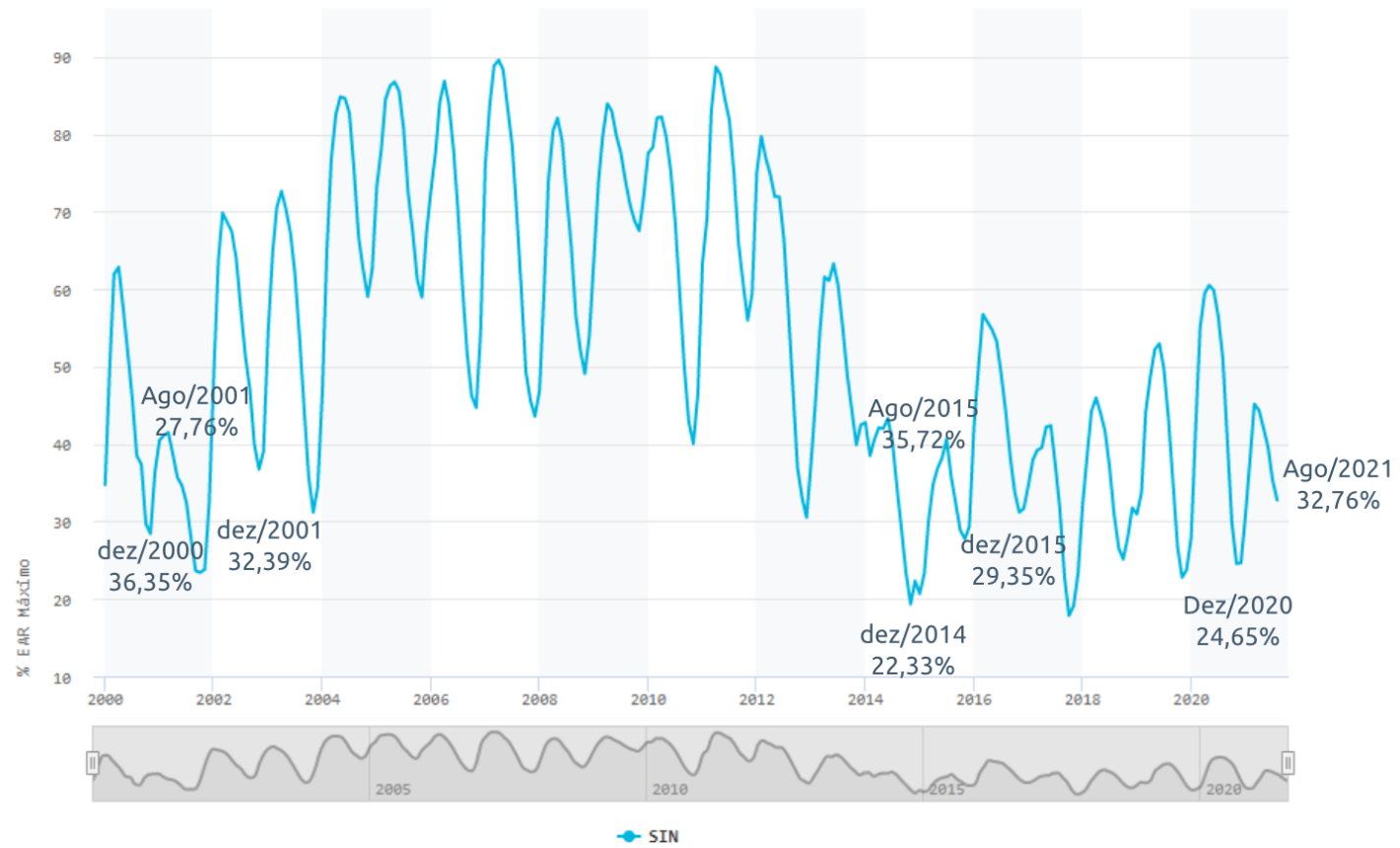


Fonte: ONS / Elaboração Megawhat

Fonte: ONS / Elaboração Megawhat

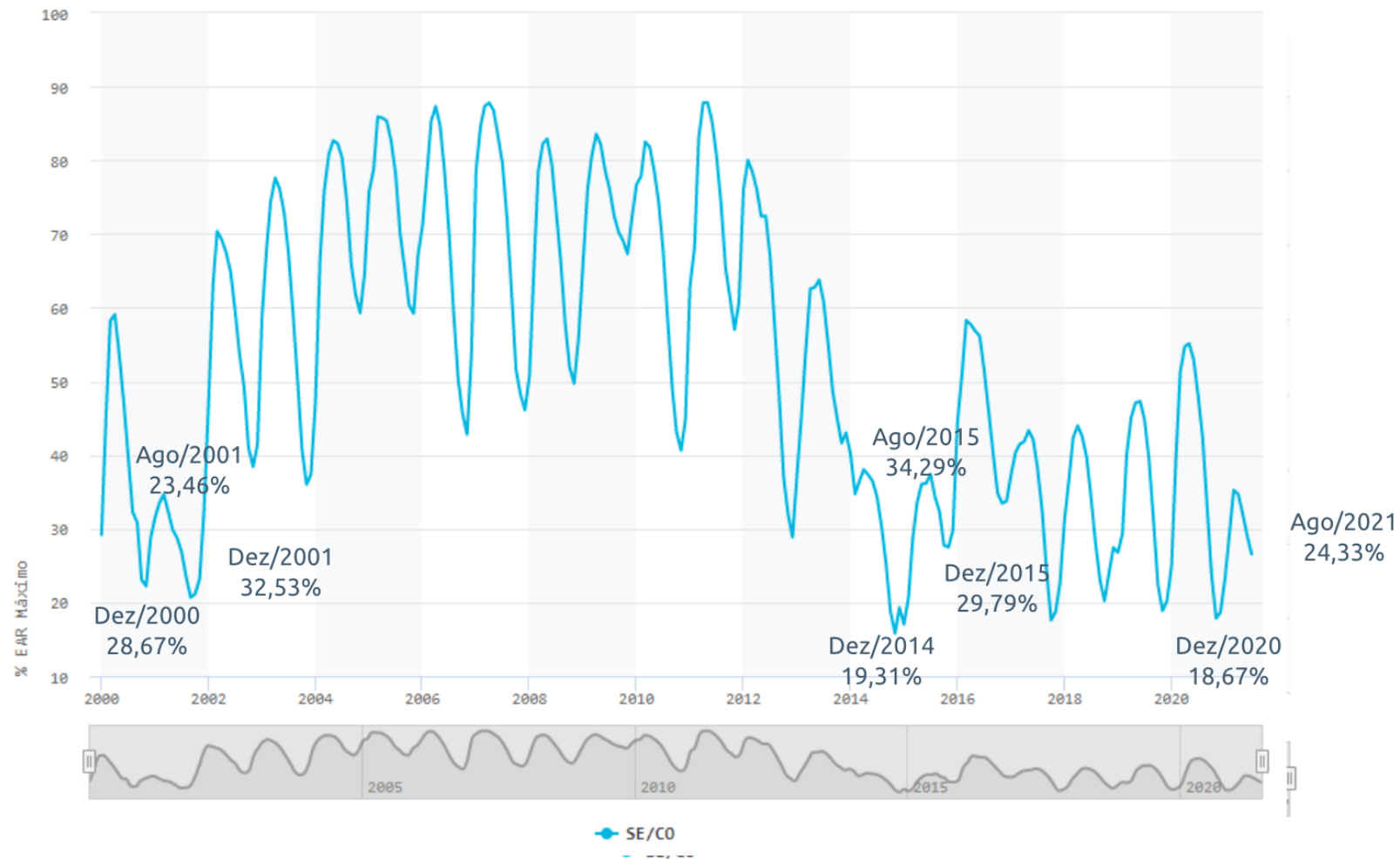


Histórico Reservatório - SIN



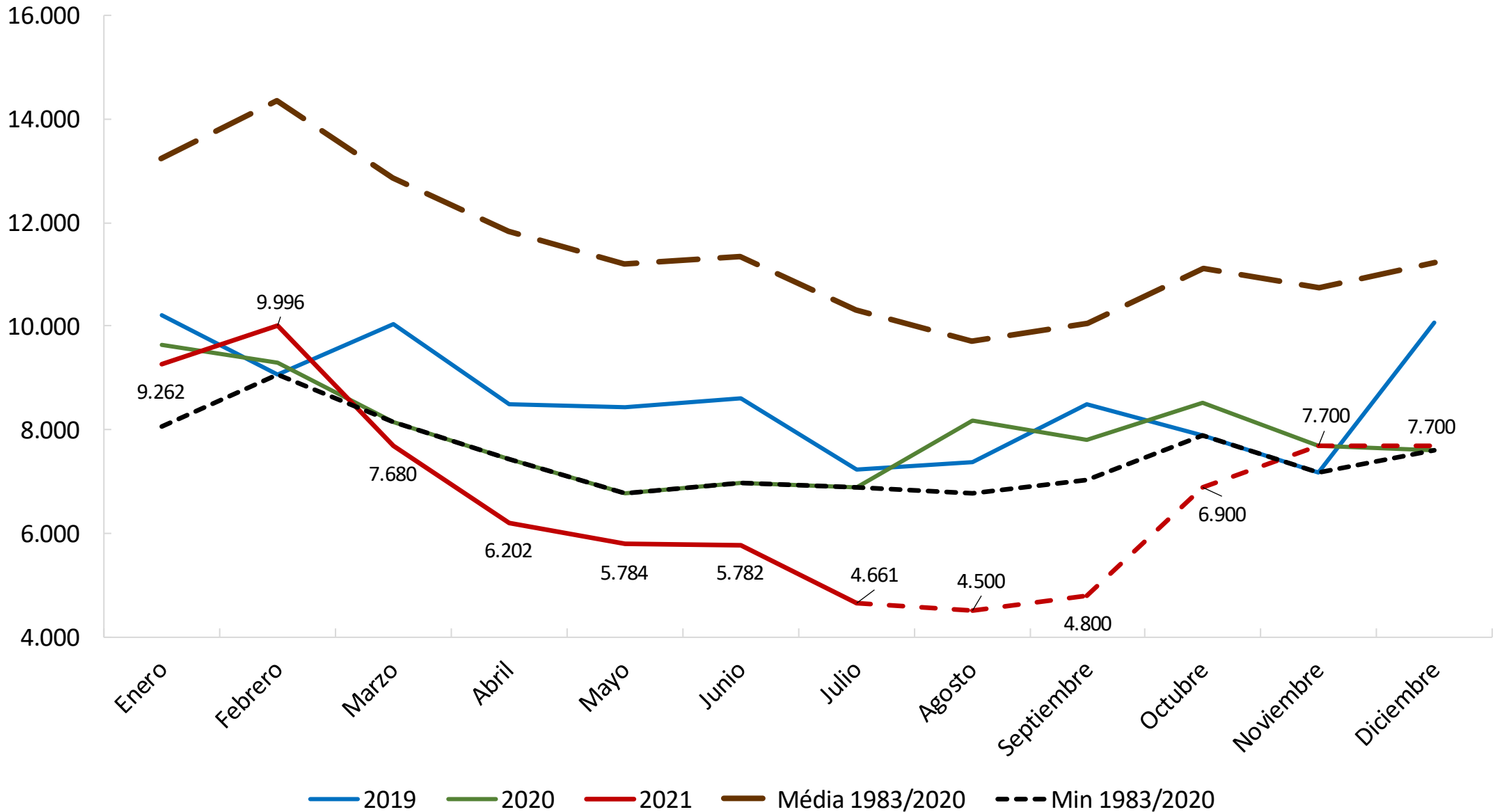
Fonte: ONS / Elaboração Megawhat

Histórico Reservatório - SE/CO



Fonte: ONS / Elaboração Megawhat

Afluencia al Embalse [m³/s]



Caudales en Guaira Porto y Afluencia Natural en Itaipú [m³/s]

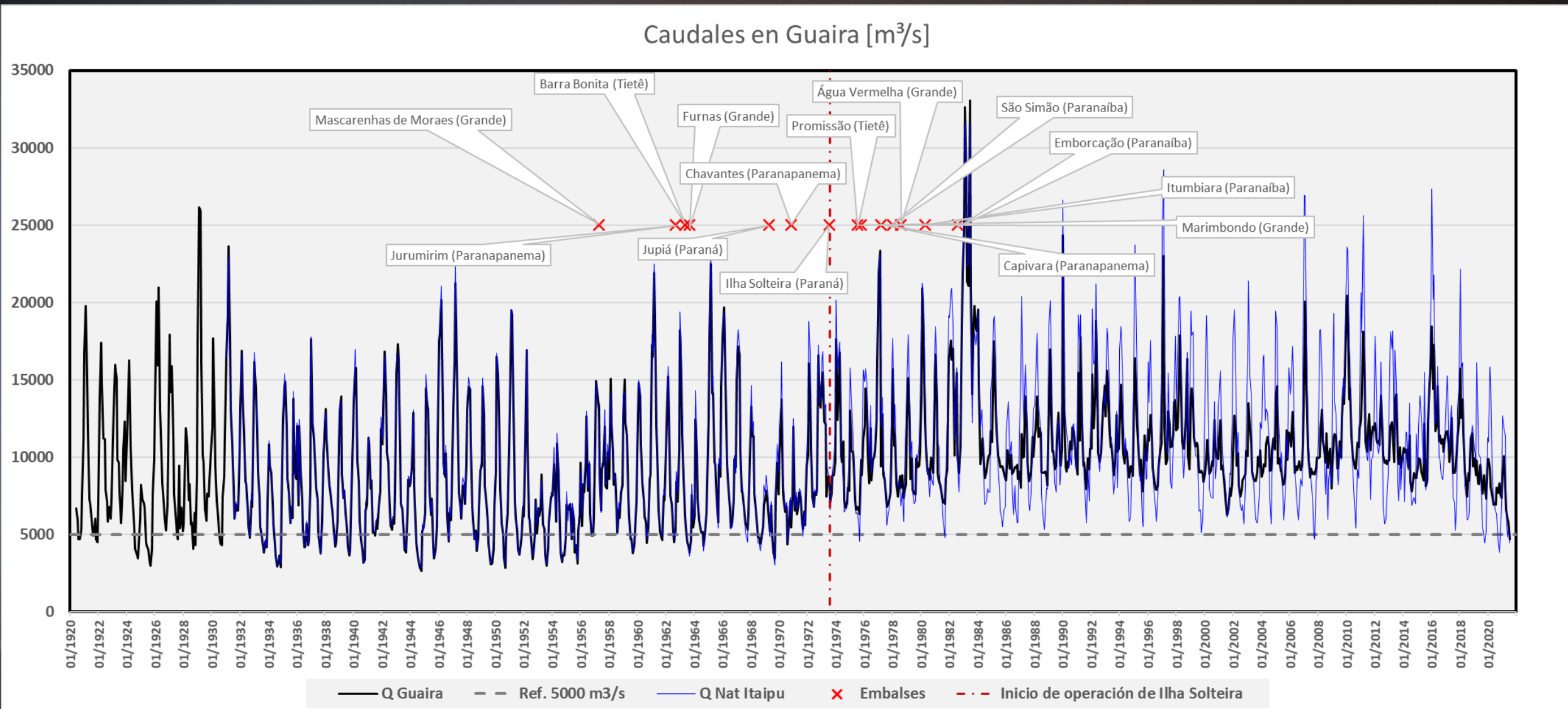
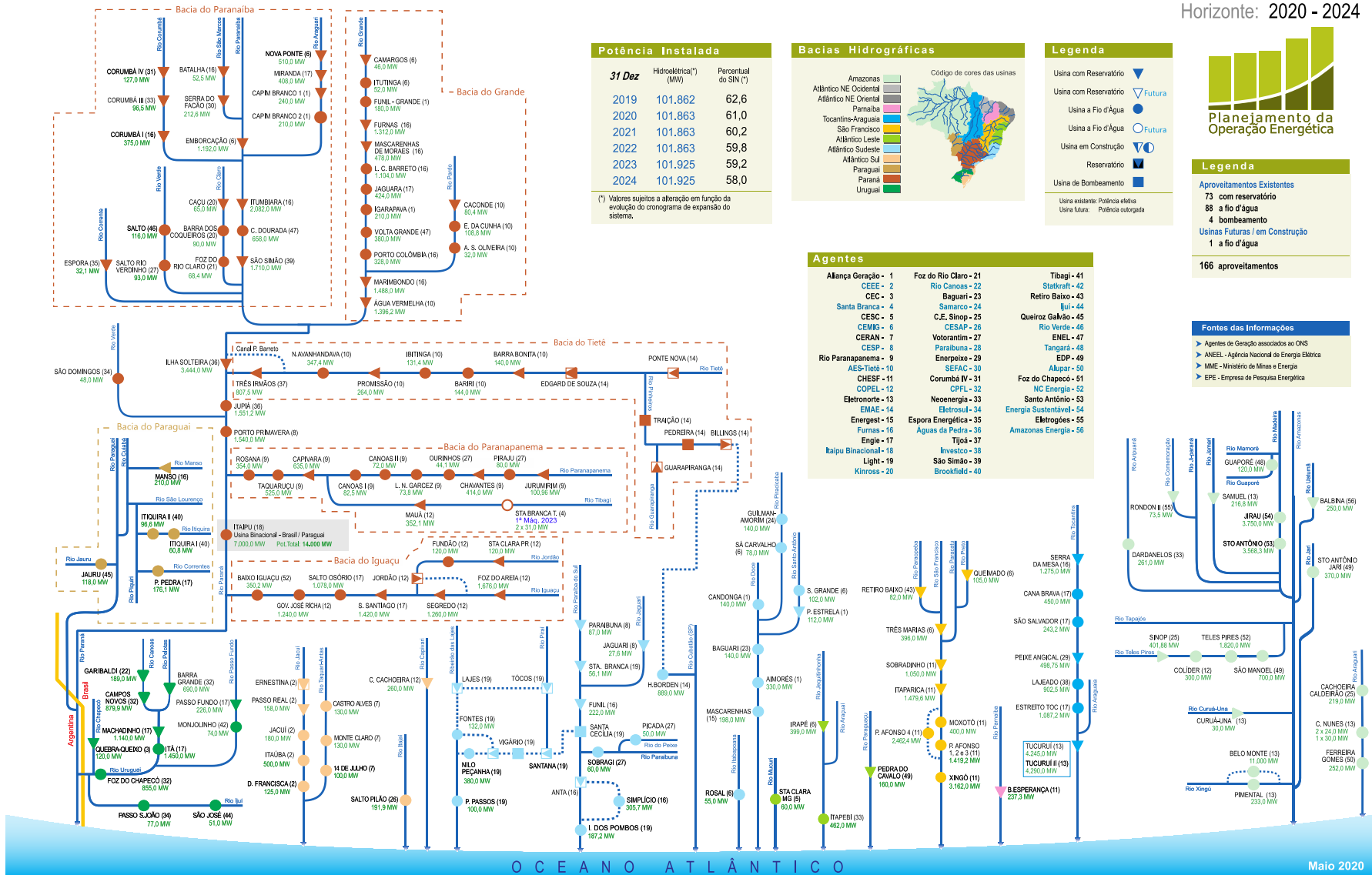


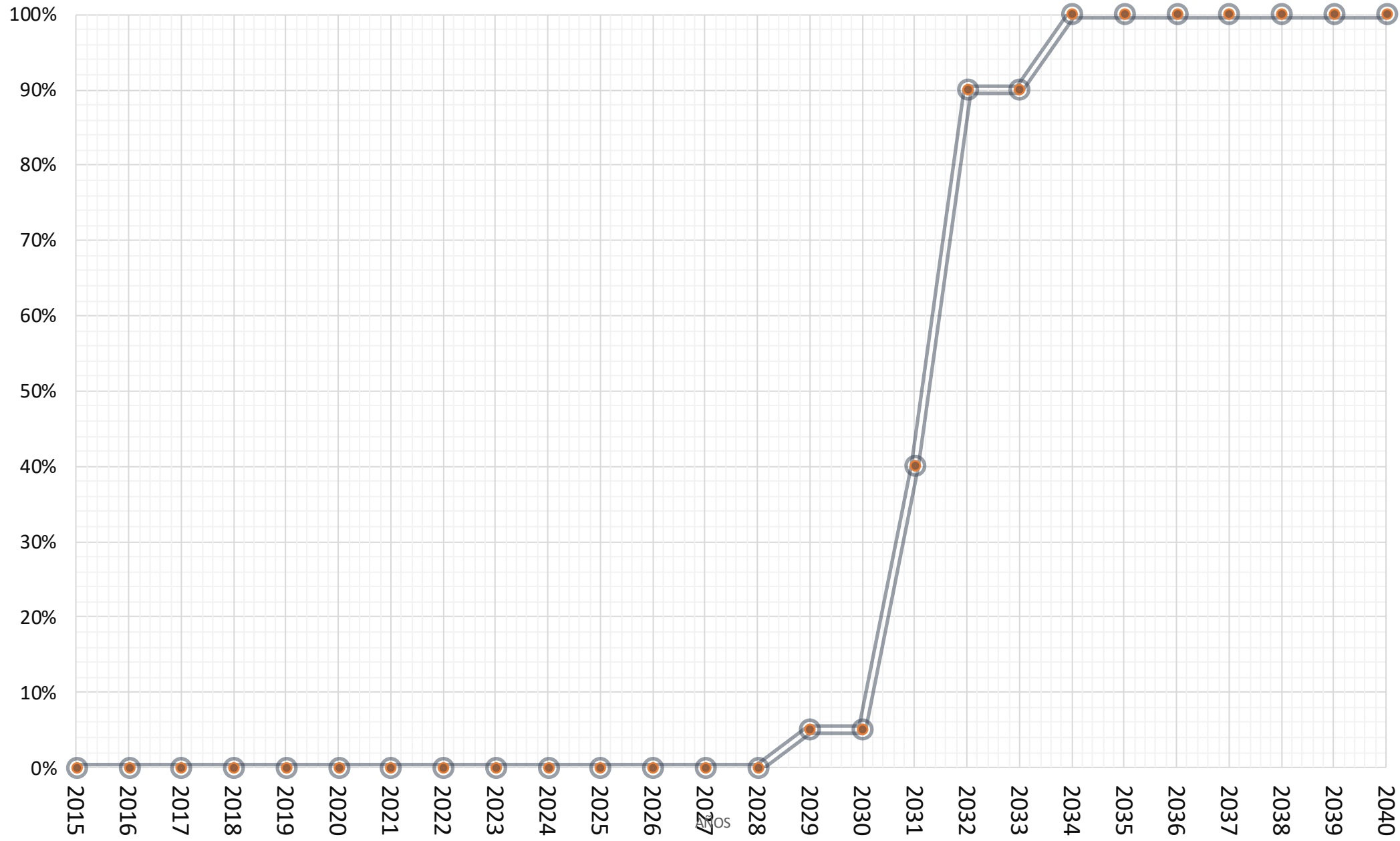
Diagrama Esquemático das Usinas Hidroelétricas do SIN

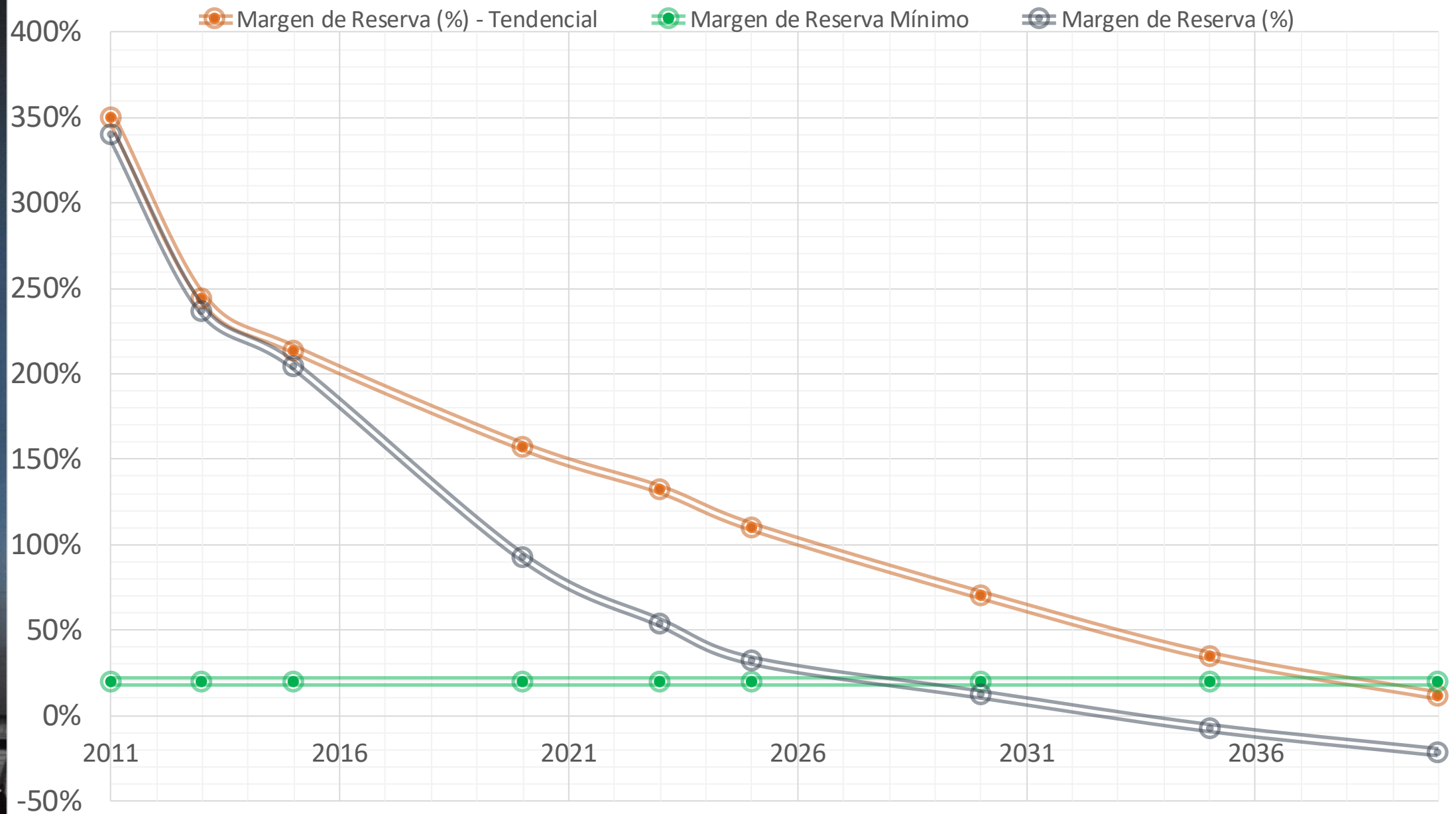
Usinas Hidroelétricas Despachadas pelo ONS na Otimização da Operação Eletroenergética do Sistema Interligado Nacional

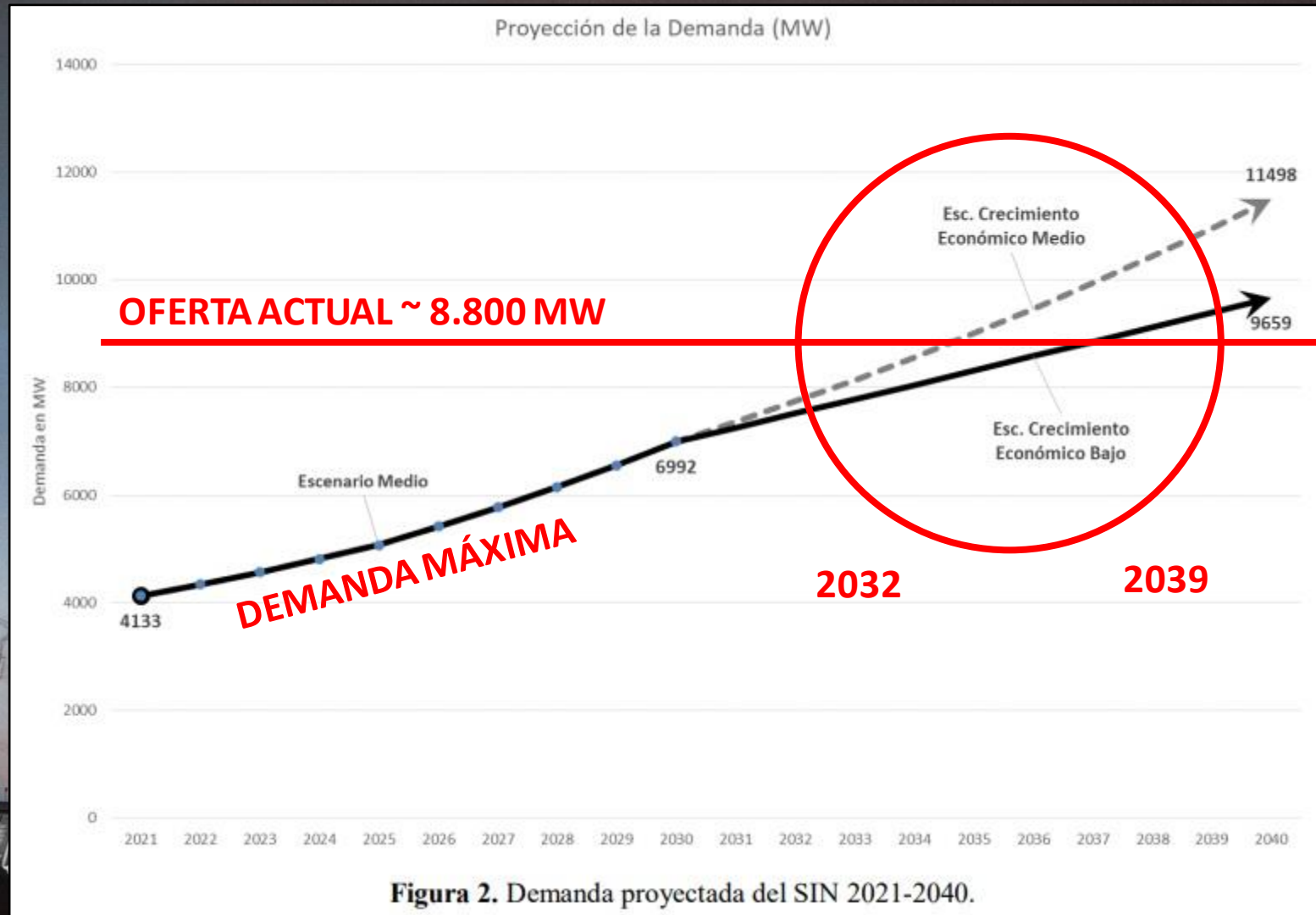
Horizonte: 2020 - 2024



PROBABILIDAD DE DÉFICIT DE POTENCIA DE ENERGÍA ELÉCTRICA







Fuente: ANDE – Plan Maestro de Generación 2021-2040 (2021)

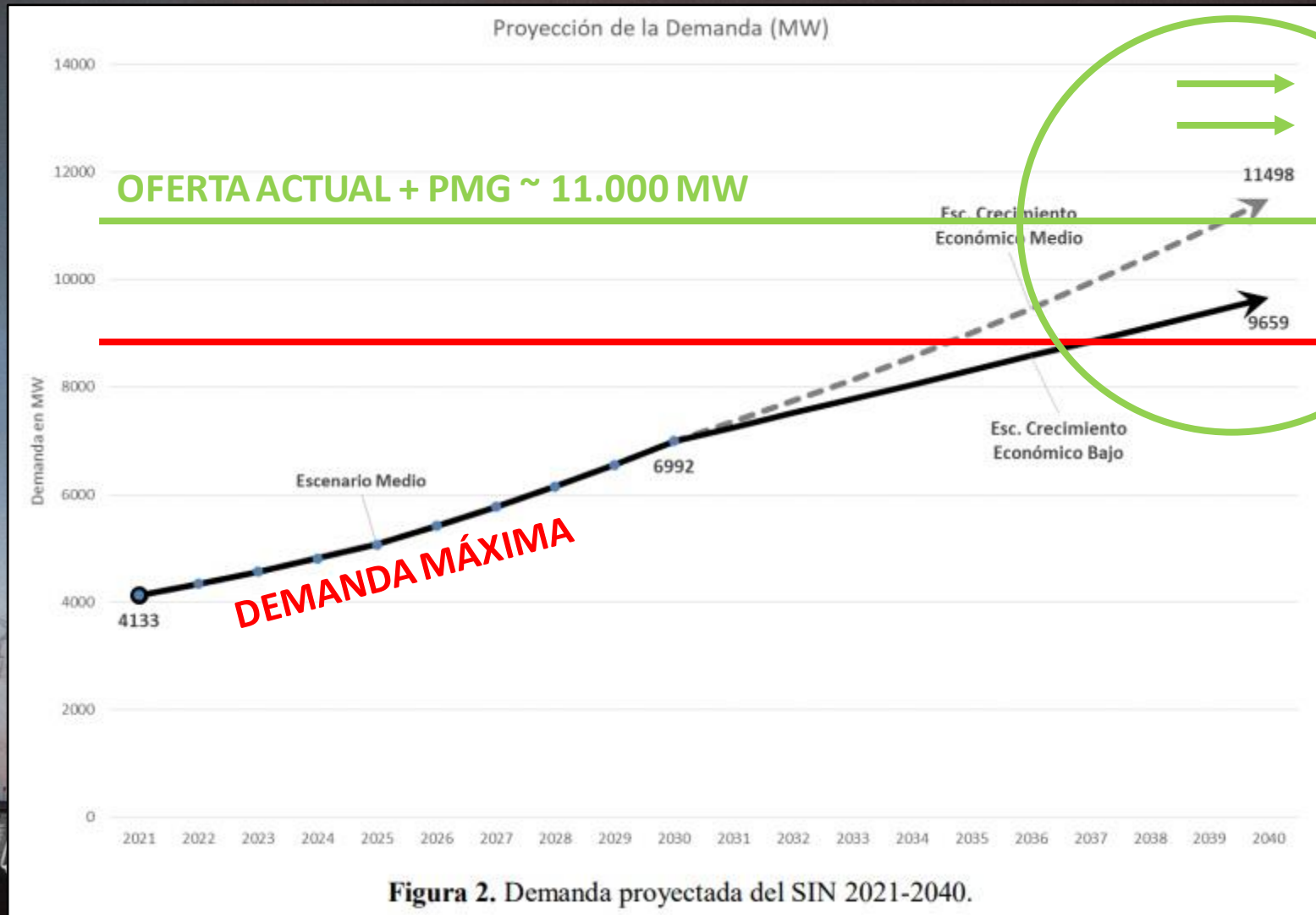


Figura 2. Demanda proyectada del SIN 2021-2040.

Fuente: ANDE – Plan Maestro de Generación 2021-2040 (2021)

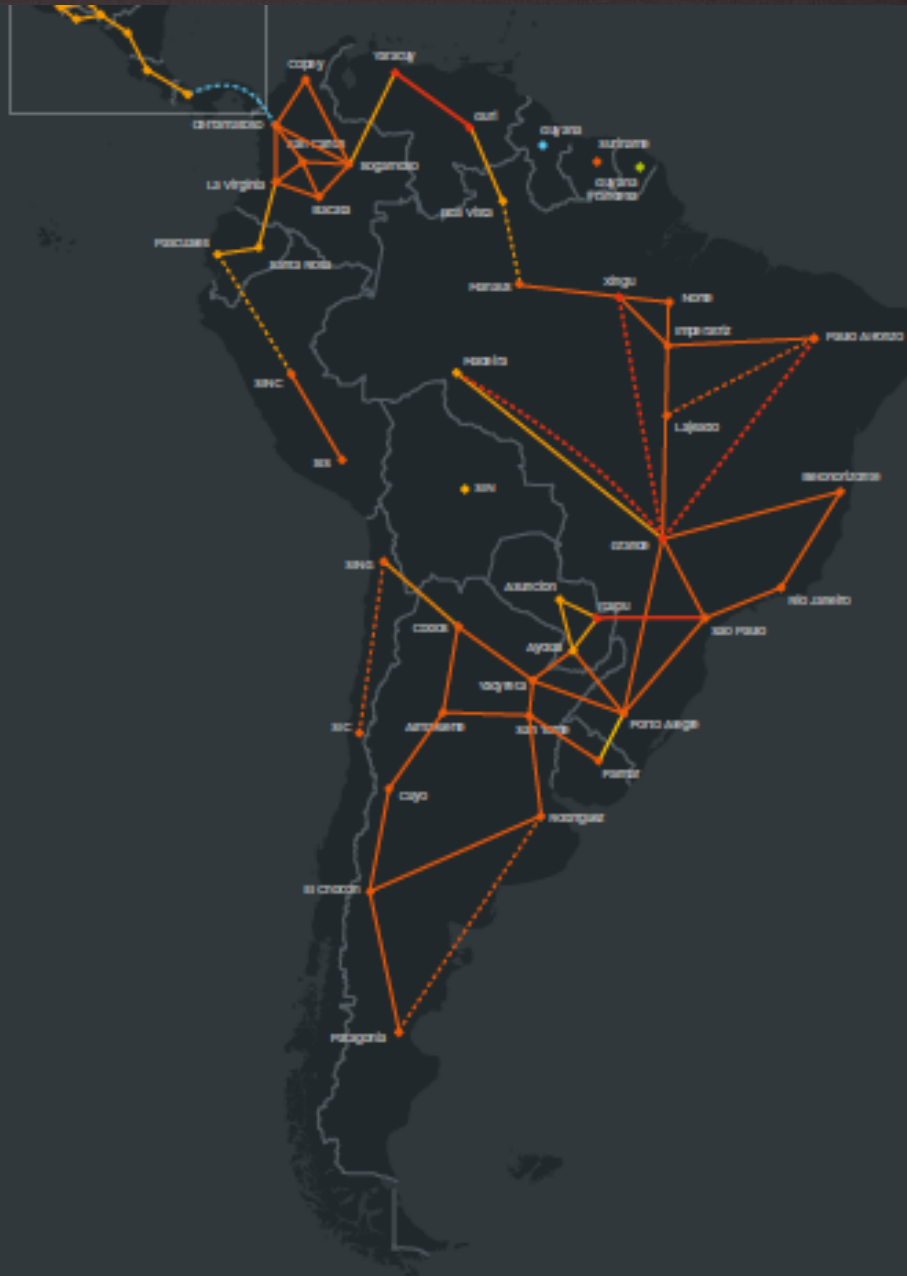
Apuntes preliminares

- ¿Cómo contemplar naturaleza de variables clave?
 - Incertidumbre
 - Factor de carga
- ¿Cómo financiamos el Plan Maestro?
 - Solo PMG 2021-2040: 3.573 MUSD
 - **Total: 8.862 MUSD**
- ¿Nuevas binacionales?
 - Al propio criterio financiero, sumar criterio político
- ¿Respaldo en sistemas vecinos?
 - Países tienen sus propios intereses/prioridades
 - Arquitectura de mercado regional inexistente

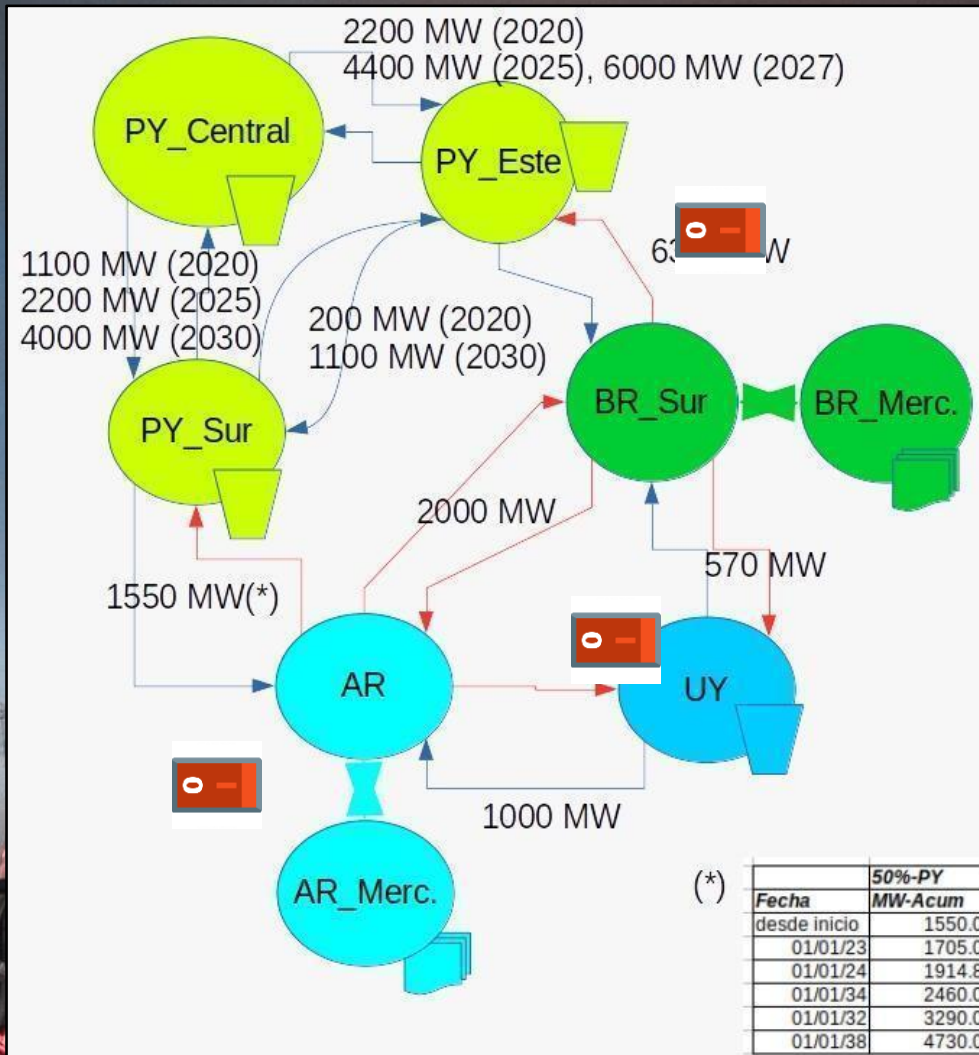
Sistema de transmisión escenario BASE

— En operación
- - - Proyectada

- 765 a 800 KV
- 500 KV
- 400 KV
- 230 KV
- 220 KV
- 132 KV
- 138KV
- 69 KV



Modelo de sistema regional



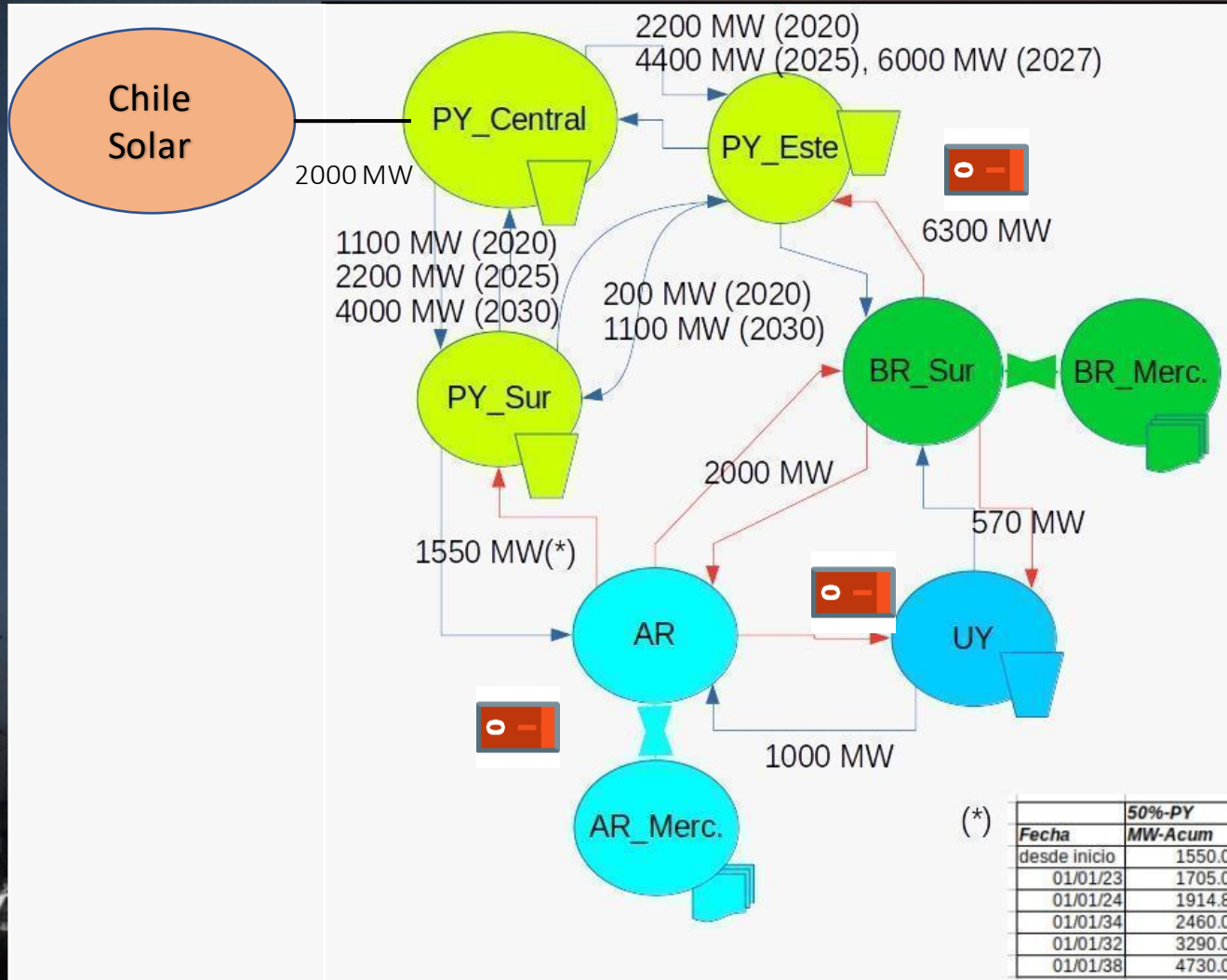
Desarrollador:
Banco Mundial

Plataforma:
SimSEE - Uruguay

Año:
2019

 **SimSEE**

Modelo de sistema regional



Desarrollador:
Banco Mundial

Plataforma:
SimSEE - Uruguay

Año:
2019

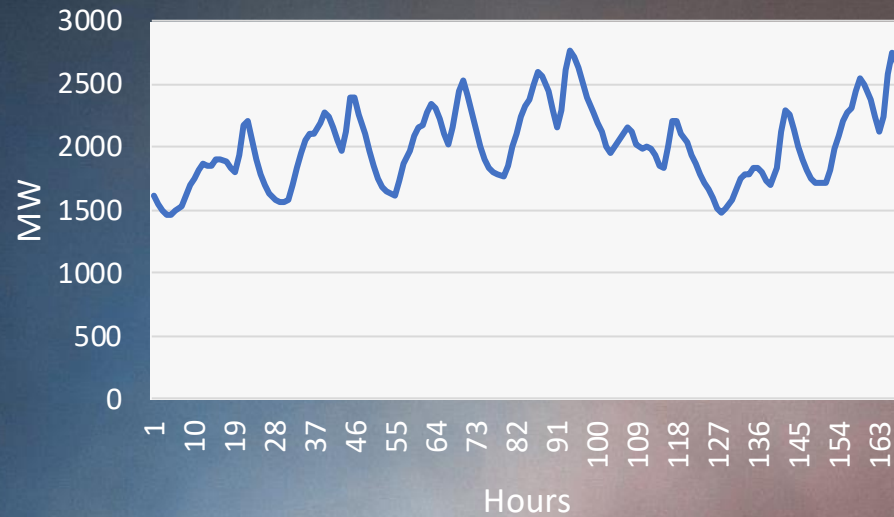


Modelo de sistema regional

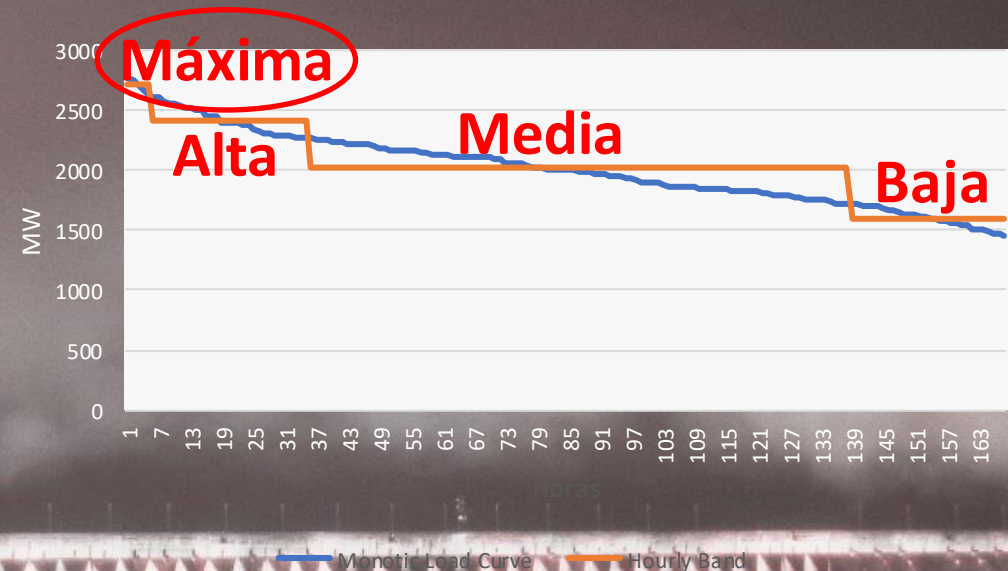
Tratamiento de premisas con procesos estocásticos

- Oferta
 - Generación (a partir de recursos primarios)
 - Precios regionales (Argentina, Brasil)
 - Correlación precio/hidrología (para Brasil)
 - Disponibilidad de mercados e interconexiones (fallas)
- Demanda
 - Intervalo de tiempo semanal
 - Cuatro bloques: máxima, alta, media, baja

Modelo de sistema regional



Ejemplo:
Demanda en la primera semana de 2018 (168 h.)



¿Qué hacemos?

Se resuelve un FOP para los cuatro bloques de demanda

- Período: 2018-2050
- Realizaciones: 250

Función Objetivo

Politica de Operación Óptima

Establece la acción “ $u(t)$ ” que reduce el costo futuro

Las variables de estado “ $X(t)$ ”, las variables no controlables “ $r(t)$ ”, y el tiempo “ t ” son tenidos en cuenta

- $u = OP(X,r,t)$

Costo Futuro

Es la función objetivo y representa el coste total del sistema en el futuro, considerando una tasa de descuento específica.



$$CF_t = \sum_{j=2020}^{j=2050} (fc_j + voll_j + ic_j - er_j) * q^{j-2020}$$

fc: costos de combustibles

voll: value of lost load

ic: costos de importación

er: excedentes de exportación

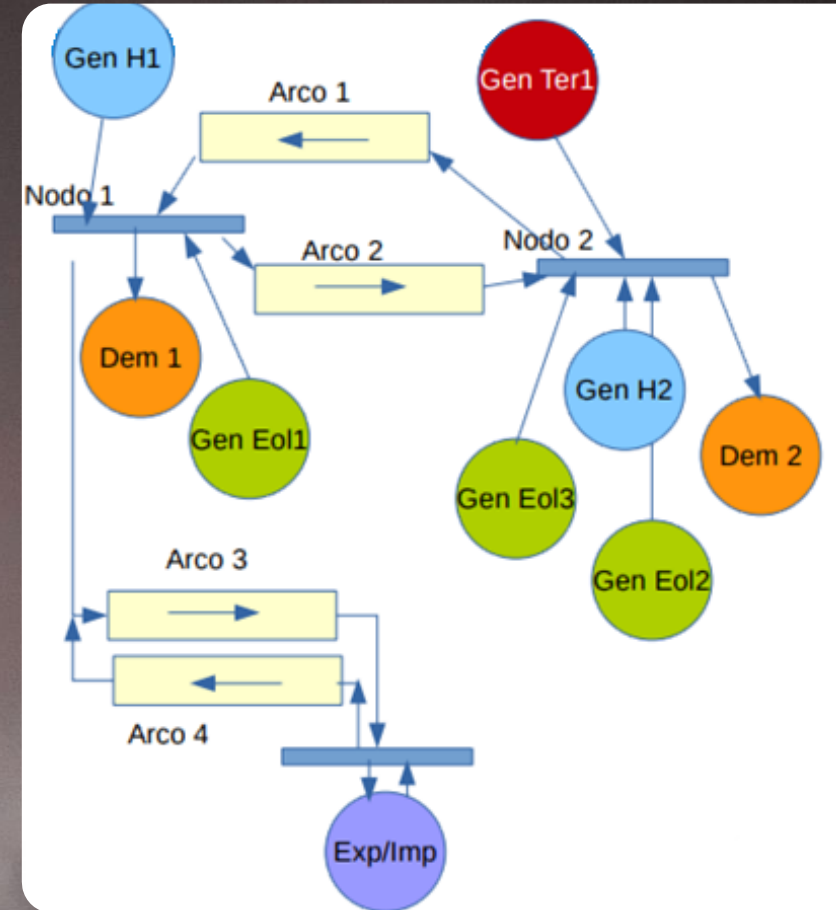
q: tasa de descuento

Modelo

Fuentes

- Valores constantes
- Distribuciones
 - Uniforme
 - Gaussiana
 - Weibull
- Sintetizador CEGH*
- Sinusoidal
- Max – Min Source

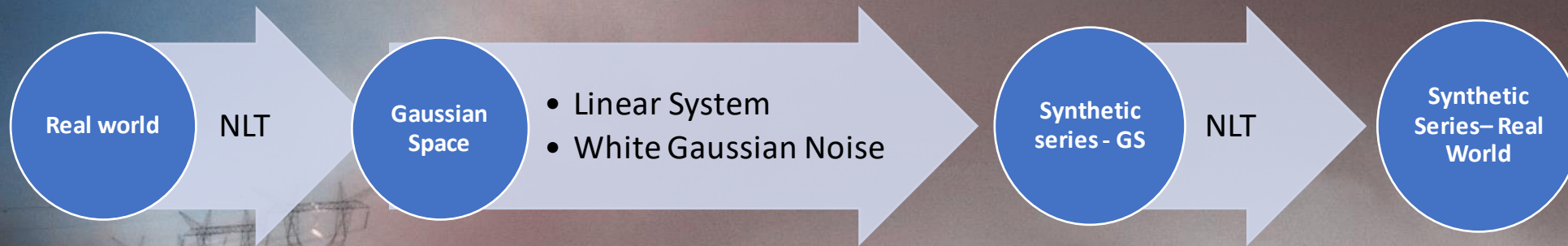
* Correlación en Espacio Gaussiano con Histogramas



Sintetizador CEGH

It creates synthetic series with the same properties of the original process:

- Amplitude histograms; and
- time-space correlation in a Gaussian Space



Optimization

Stochastic Dynamic Programming

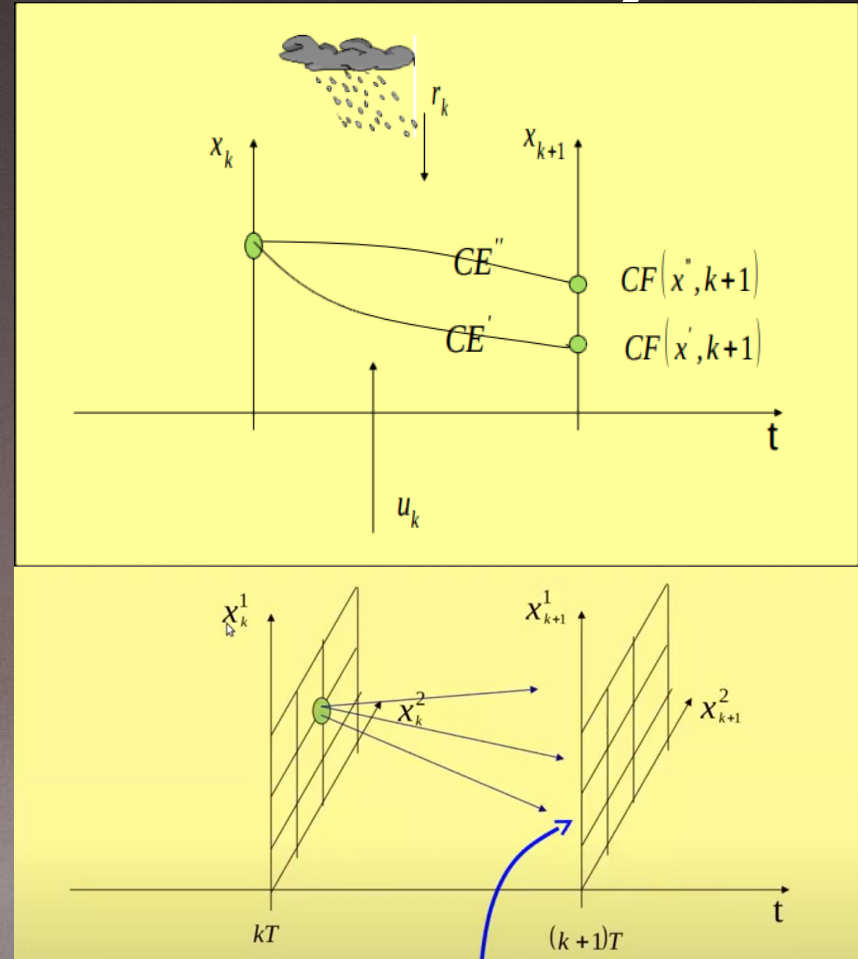
Process

Considering as given values the state variables of the state $k+1$.

The Operating Policy that reduces the cost from the state in the time k to the state in the time $k+1$ is searched

Variables

- CF: Future Cost
- $X(k), X(k+1)$: states in time k and $k+1$
- CE: Stage Costs
- $u(k)$: controllable variables
- $r(k)$: non-controllable variable (stochastic processes)



For n state variables, with 5 discretization each variable

Number of points in the shed $\prod_{i=1}^n X_k = 5^n$

Premisas

- Paraguay, debido a su tamaño, no afecta de forma significativa los planes de expansión o los costos marginales en Argentina o Brasil
- Teniendo en cuenta los mercados:
 - Paraguay es modelado representando su demanda y su generación
 - Brasil y Argentina son modelados como mercados de costos marginales
 - Chile es modelado como un generador que ofrece a Paraguay la energía de sus Centrales Solares PV, a un costo de energía fija (55 USD/MWh)
- **Horizonte:** 2021-2050.
- **Paso de tiempo y bandas horarias:** se utilizó un intervalo de tiempo semanal dividido en cuatro franjas horarias de 5, 30, 91 y 42 horas para representar los requisitos de energía del sistema dentro de cada intervalo de tiempo.
- **Intercambios internacionales:** se basan en la diferencia de costos marginales, la cual deben de ser superior al precio del peaje, costos de transmisión establecido. Para Paraguay con Argentina y con Brasil de 10USD/MWh, y para Paraguay con Chile 20 USD/MWh.

Input

Correlation Table

	Salto50	Itaipu50	Yacireta50	iN34	BR_SUL_cmo1	BR_SUL_cmo3	AG_MER_cmo1	AG_MER_cmo4
Salto50	100%	25%	42%	25%	-20%	-24%	-20%	-24%
Itaipu50	25%	100%	75%	13%	-46%	-41%	-9%	-5%
Yacireta50	42%	75%	100%	22%	-29%	-33%	-8%	-8%
iN34	25%	13%	22%	100%	-20%	-17%	-10%	-14%
BR_SUL_cmo1	-20%	-46%	-29%	-20%	100%	93%	8%	8%
BR_SUL_cmo3	-24%	-41%	-33%	-17%	93%	100%	6%	8%
AG_MER_cmo1	-20%	-9%	-8%	-10%	8%	6%	100%	89%
AG_MER_cmo4	-24%	-5%	-8%	-14%	8%	8%	89%	100%

- Based on historical data



Input

Marginal Costs in Argentina and Brasil

Marginal Costs in USD of 2019:

- Brazil: a long-term trend at 35 USD / MWh was considered, consistent with the information in the Ten-Year Expansion Plan, of the EPE
- Argentina: two long-term trend scenarios were proposed, in the first scenario prices tend to 55 USD / MWh, and in the second scenario prices tend to 45 USD / MWh.



Modelo

Variables

Variables de Estado

- Recurso Hidrologico
- iN34

Variables de Control

- Generadores: Potencia
- Demanda : ENS
- Mercados Internacionales: flujo en interconexion

Variables no controlables

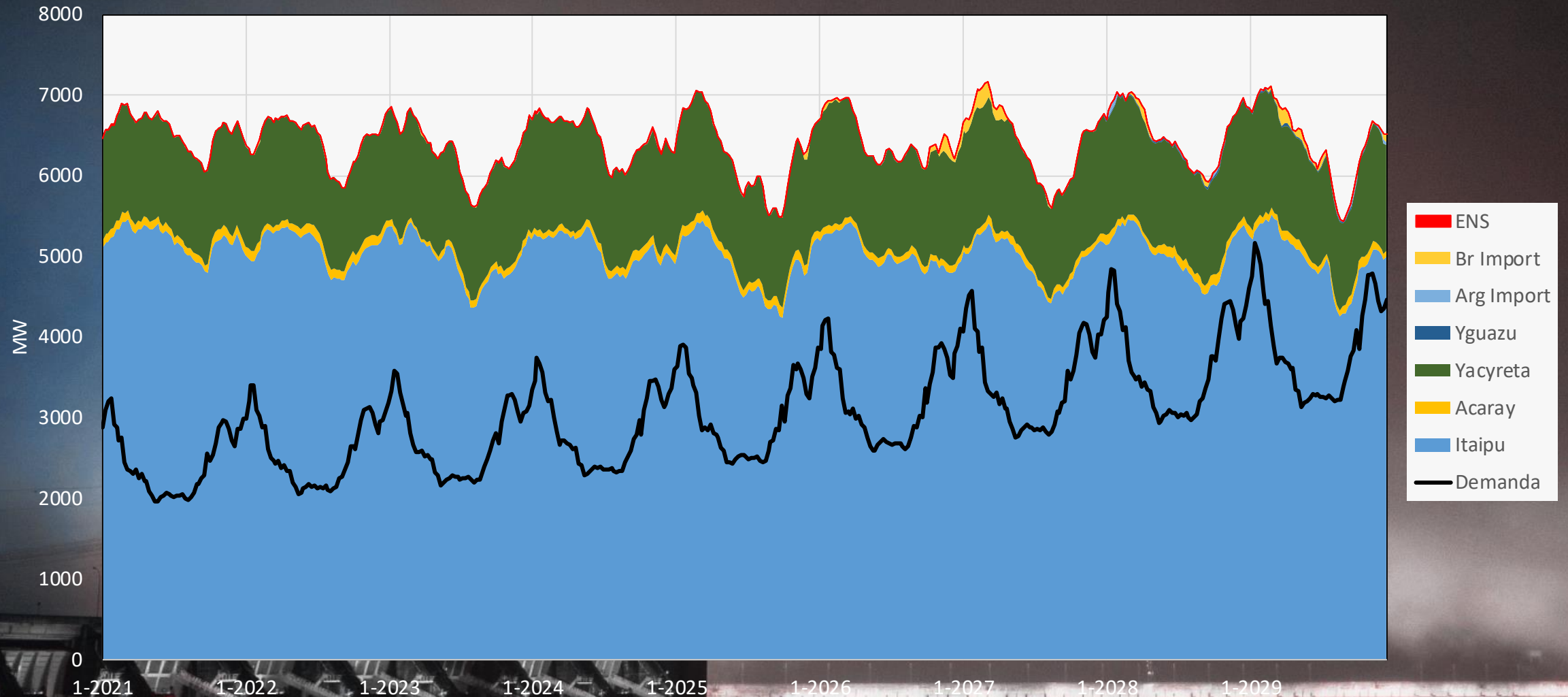
- Generadores y lineas: Failures/Availability
- River Stream Flows
- Solar Radiation
- Market Prices
- Fuels Prices
- Wind velocity

Escenarios y Resultados

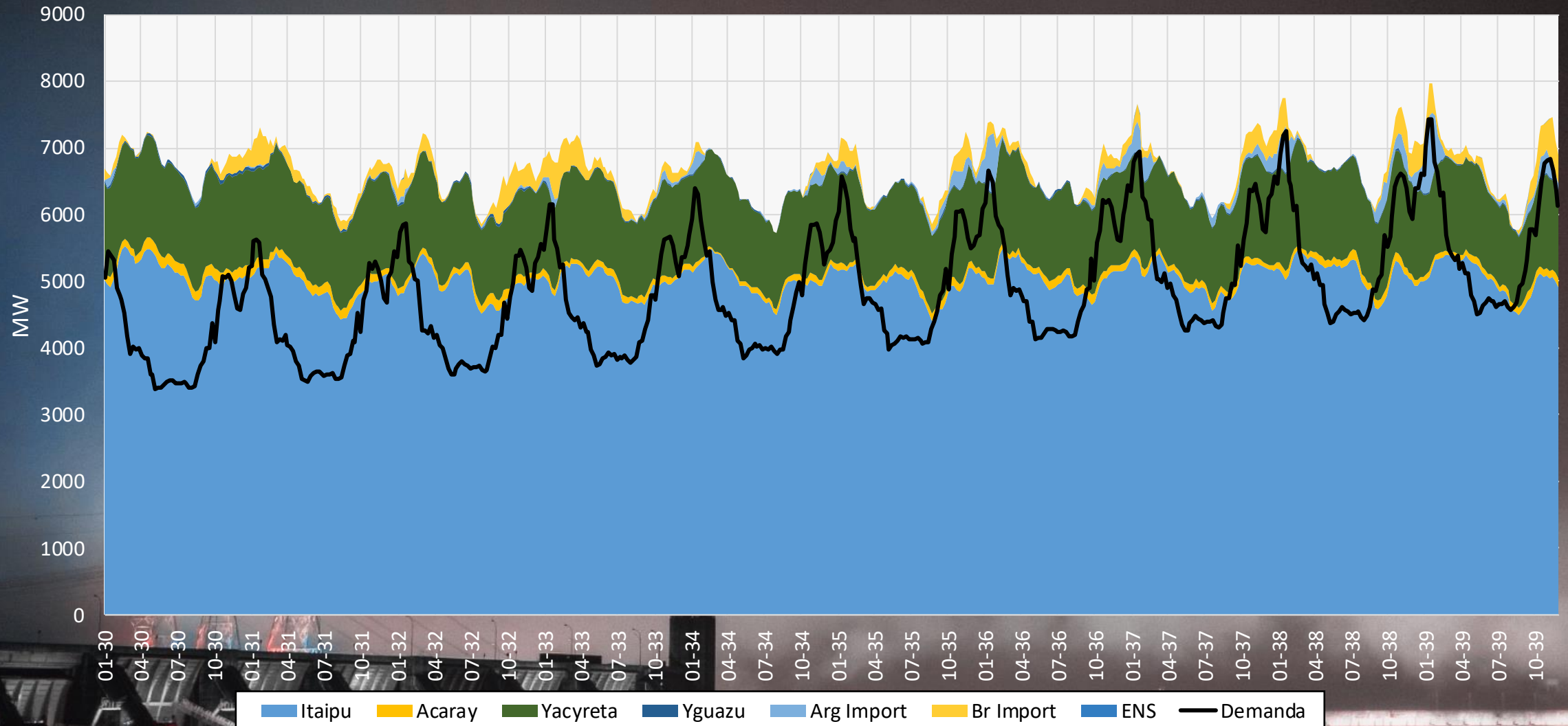
1. Sin inversiones en Paraguay
 1. Sin intercambios de Chile
 2. Con intercambios de Chile
2. Plan Maestro de Generación 2021 - 2040
 1. Sin intercambios de Chile
 2. Con intercambios de Chile



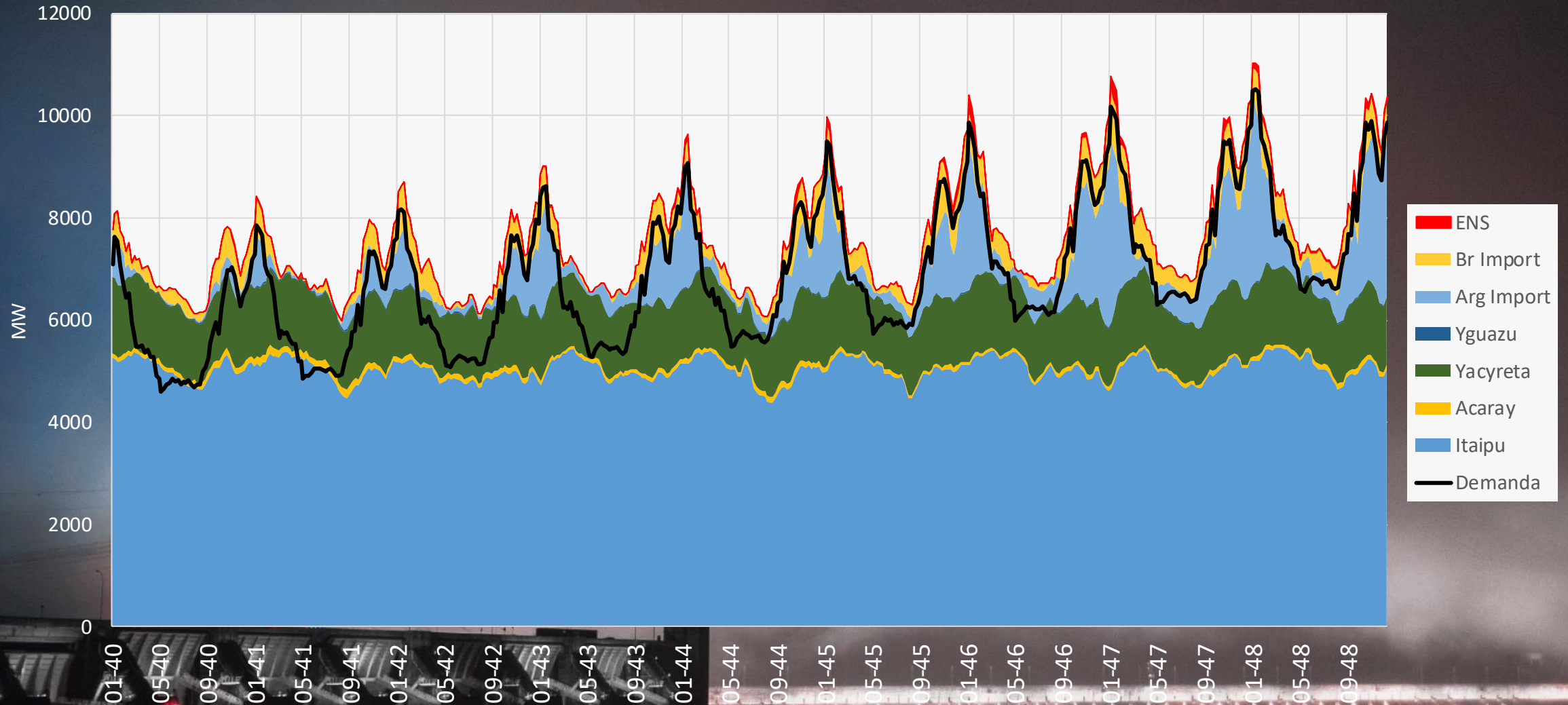
Sin interconexión – Sin Inversión



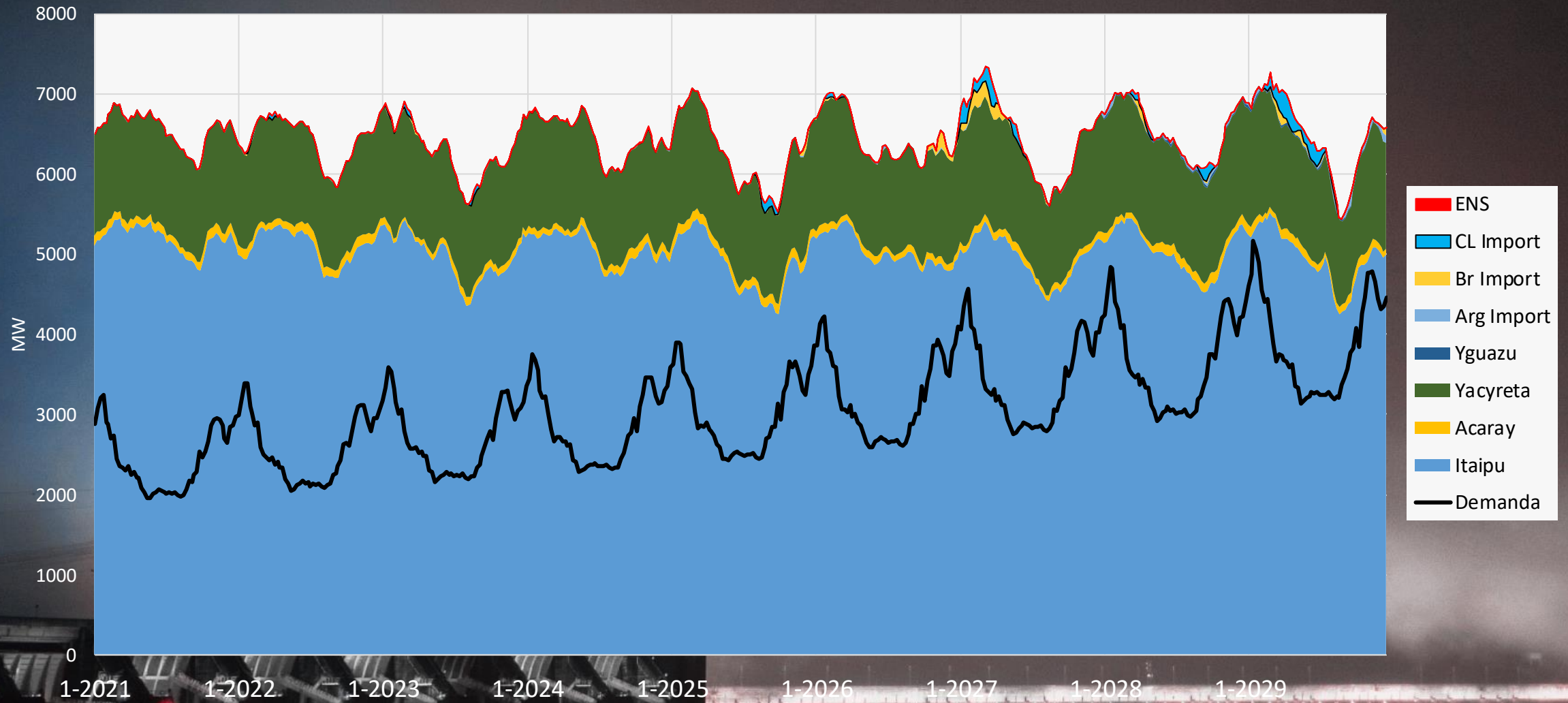
Sin interconexión – Sin Inversión



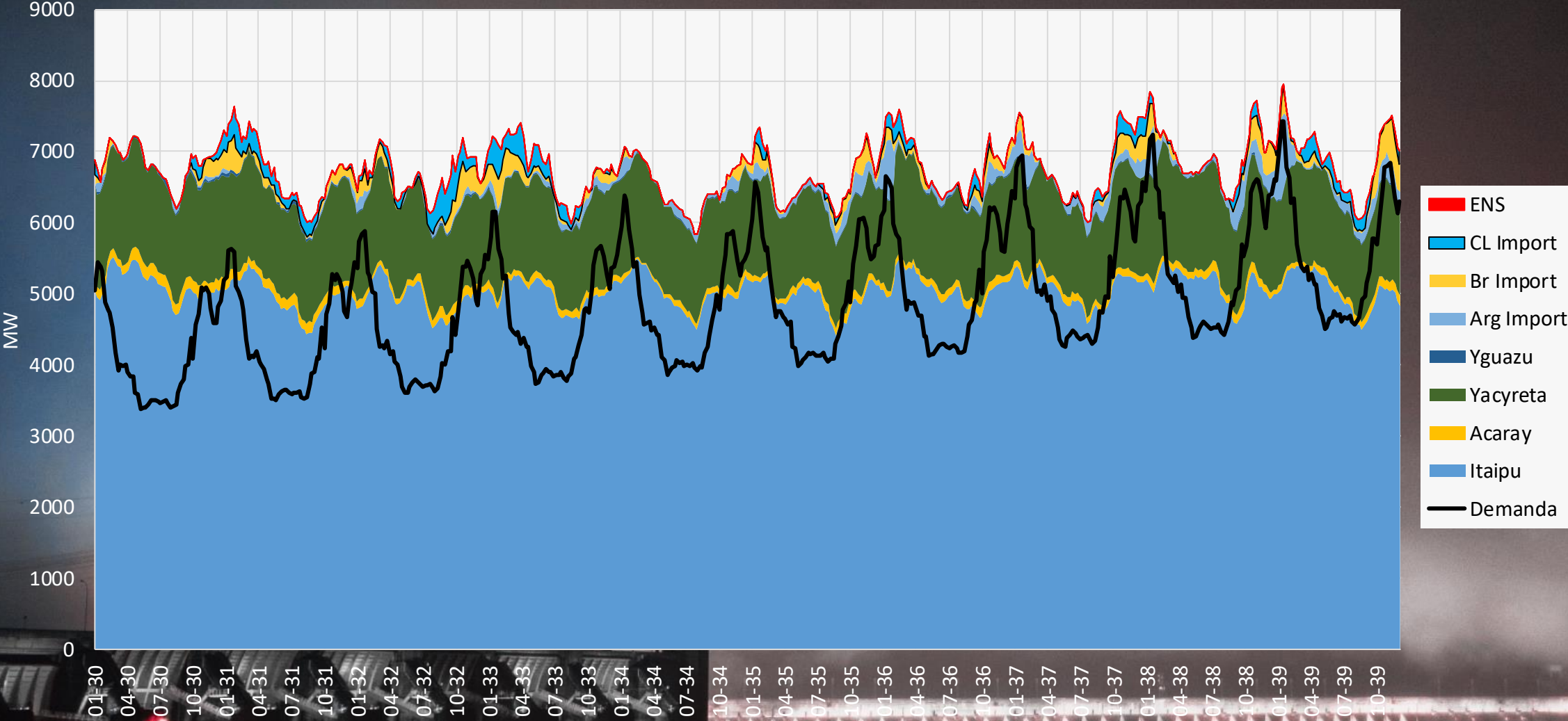
Sin interconexión – Sin Inversión



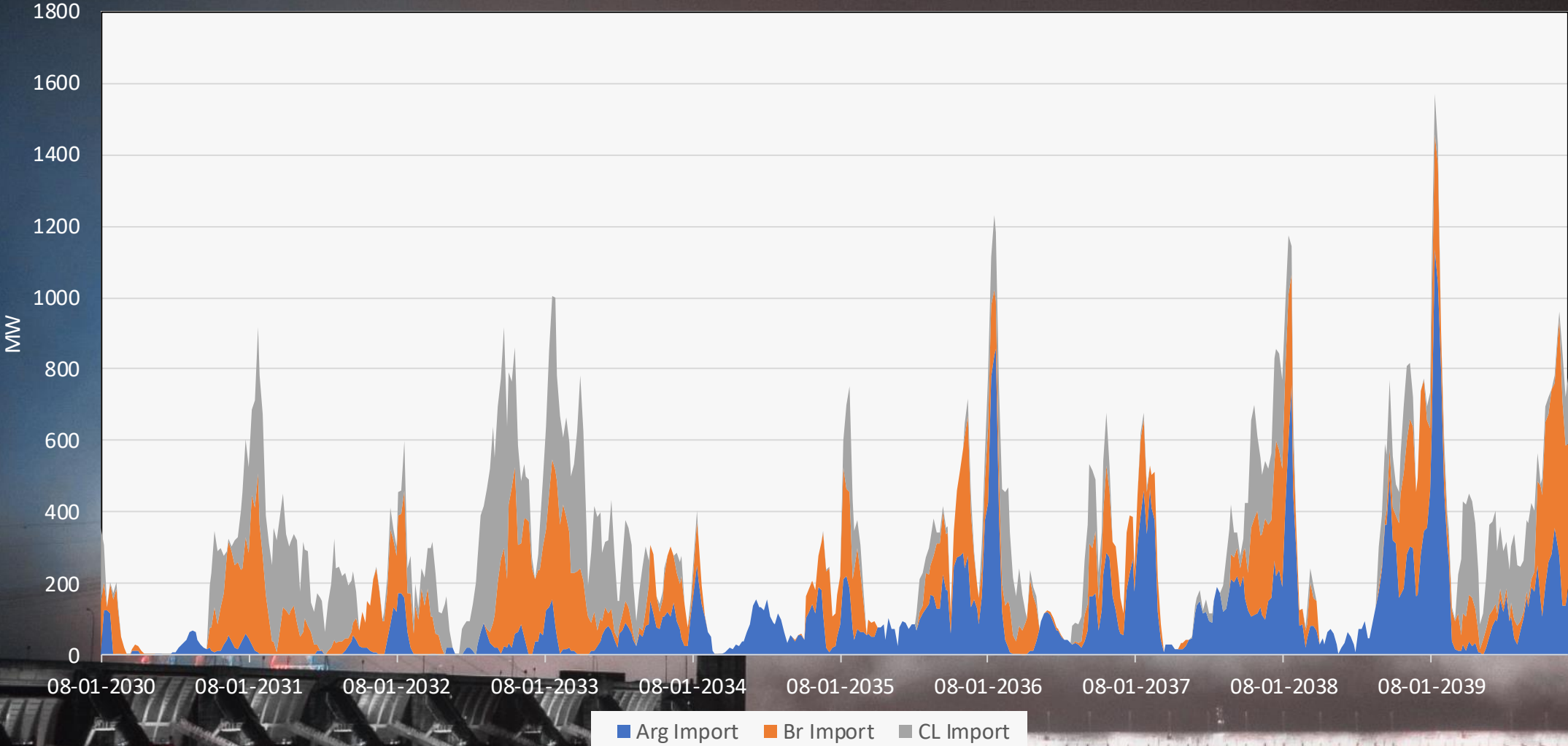
Con interconexión – Sin Inversión



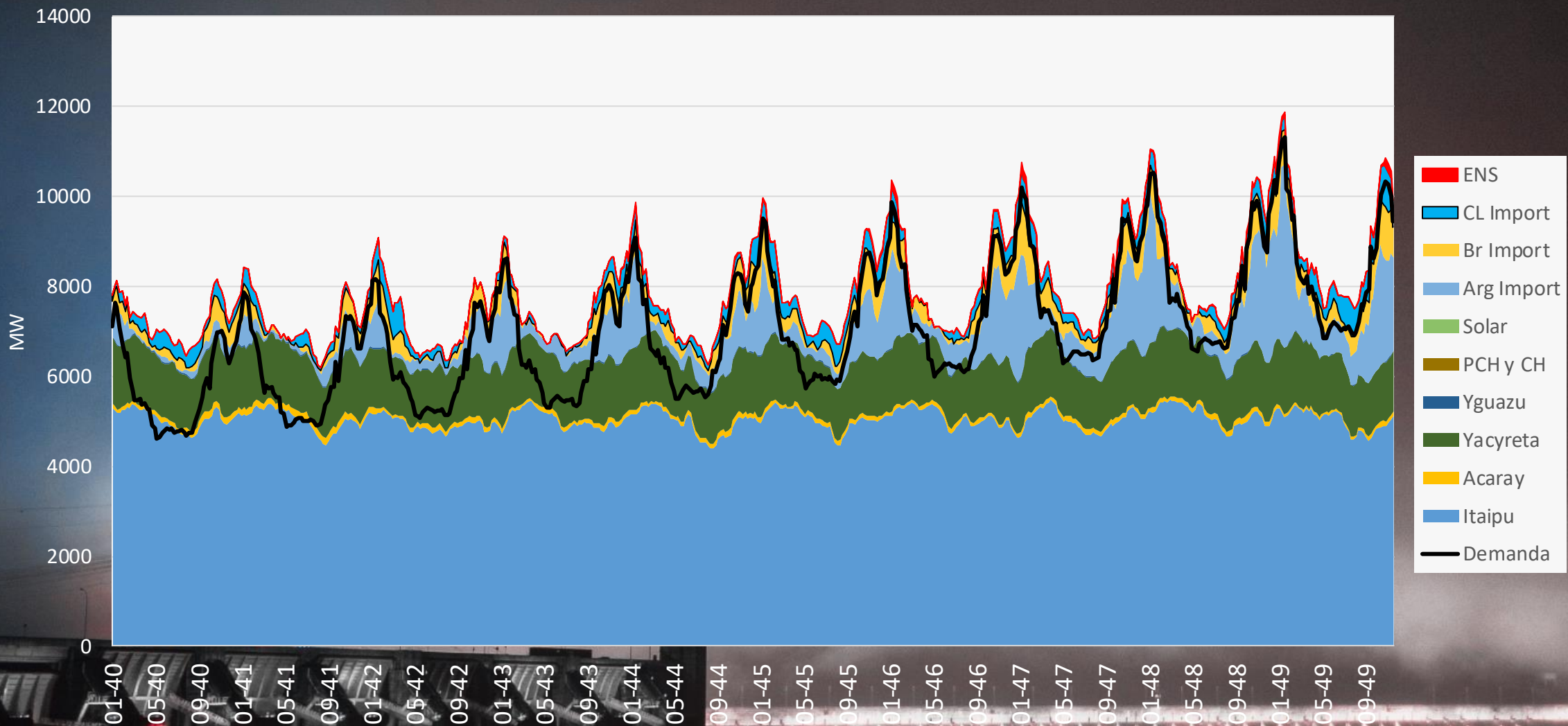
Con interconexión – Sin Inversión



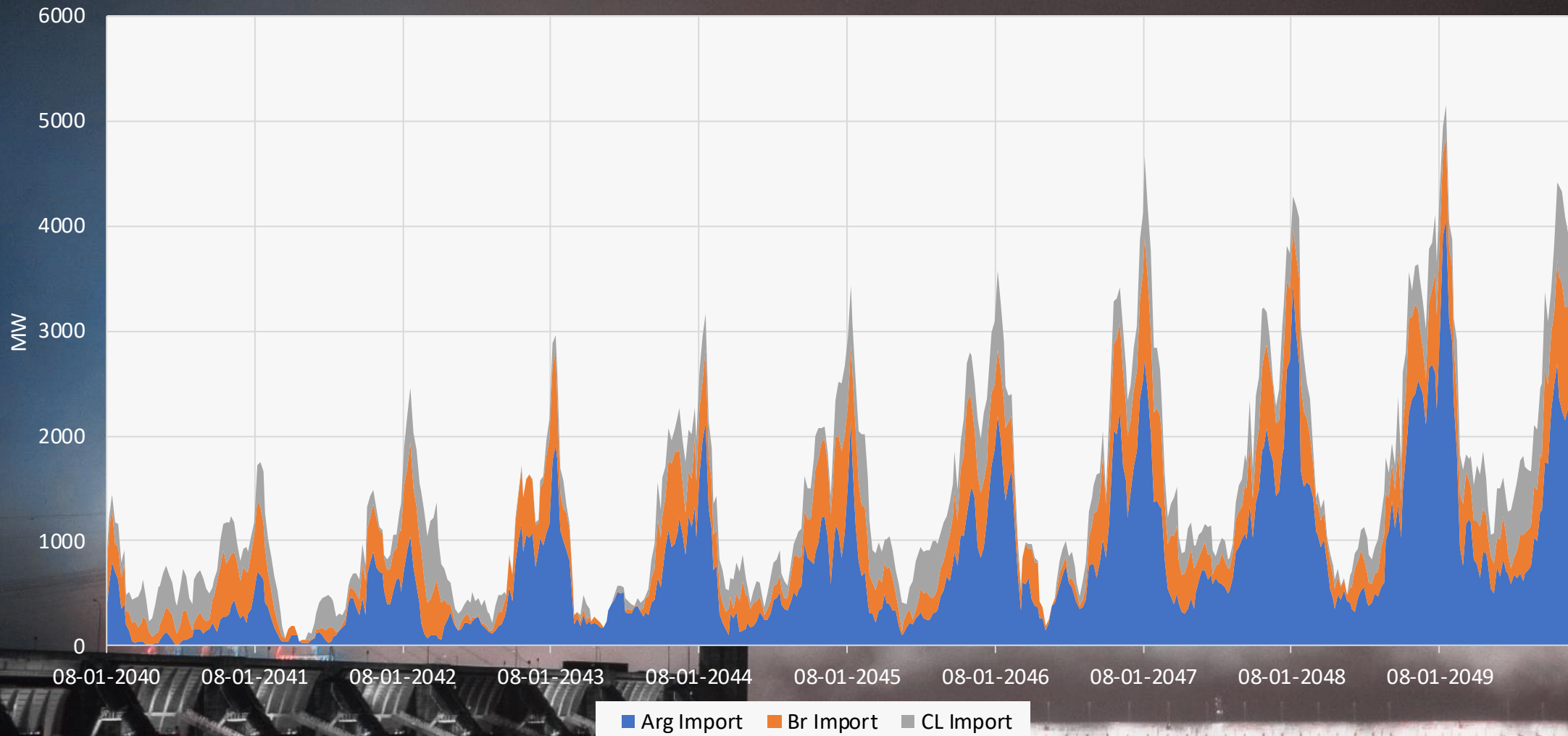
Con interconexión – Sin Inversión



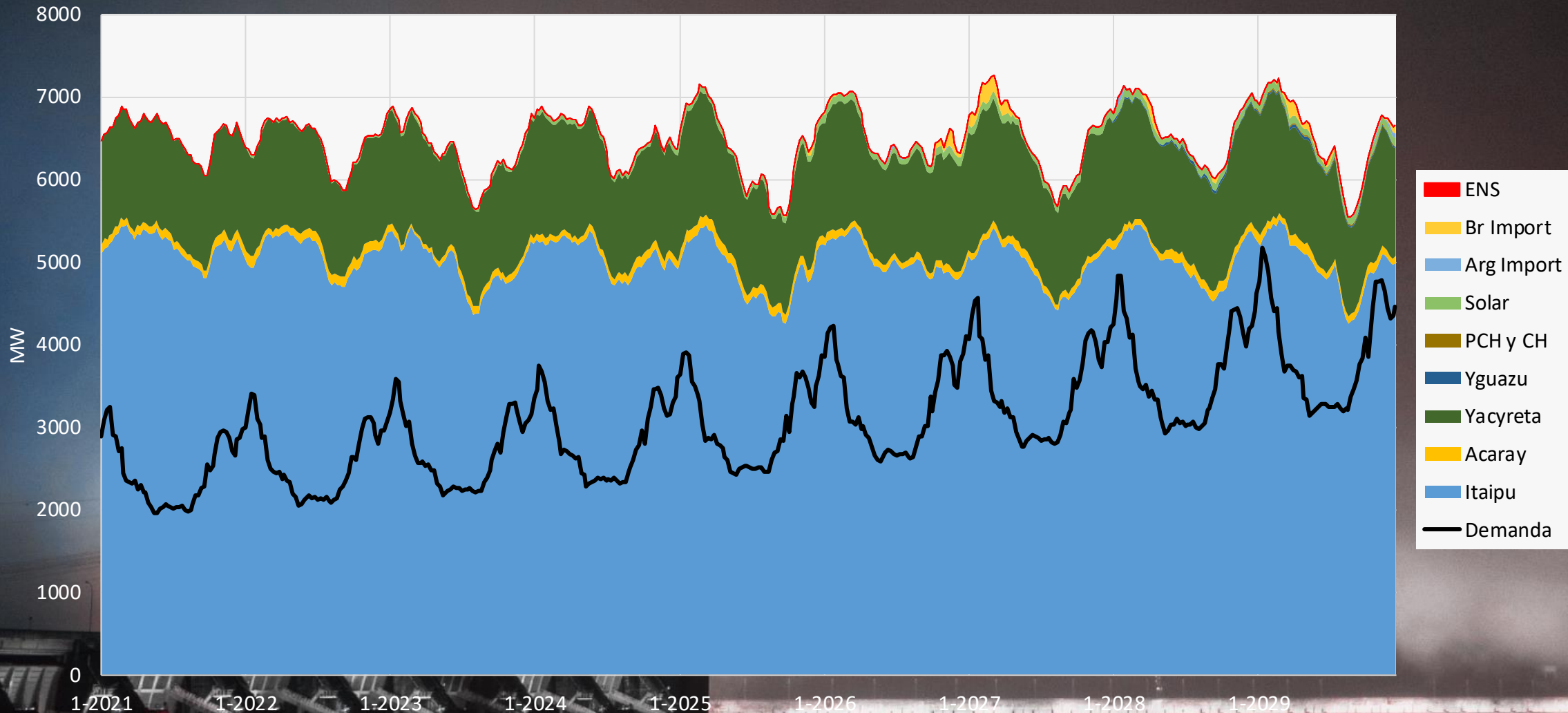
Con interconexión – Sin Inversión



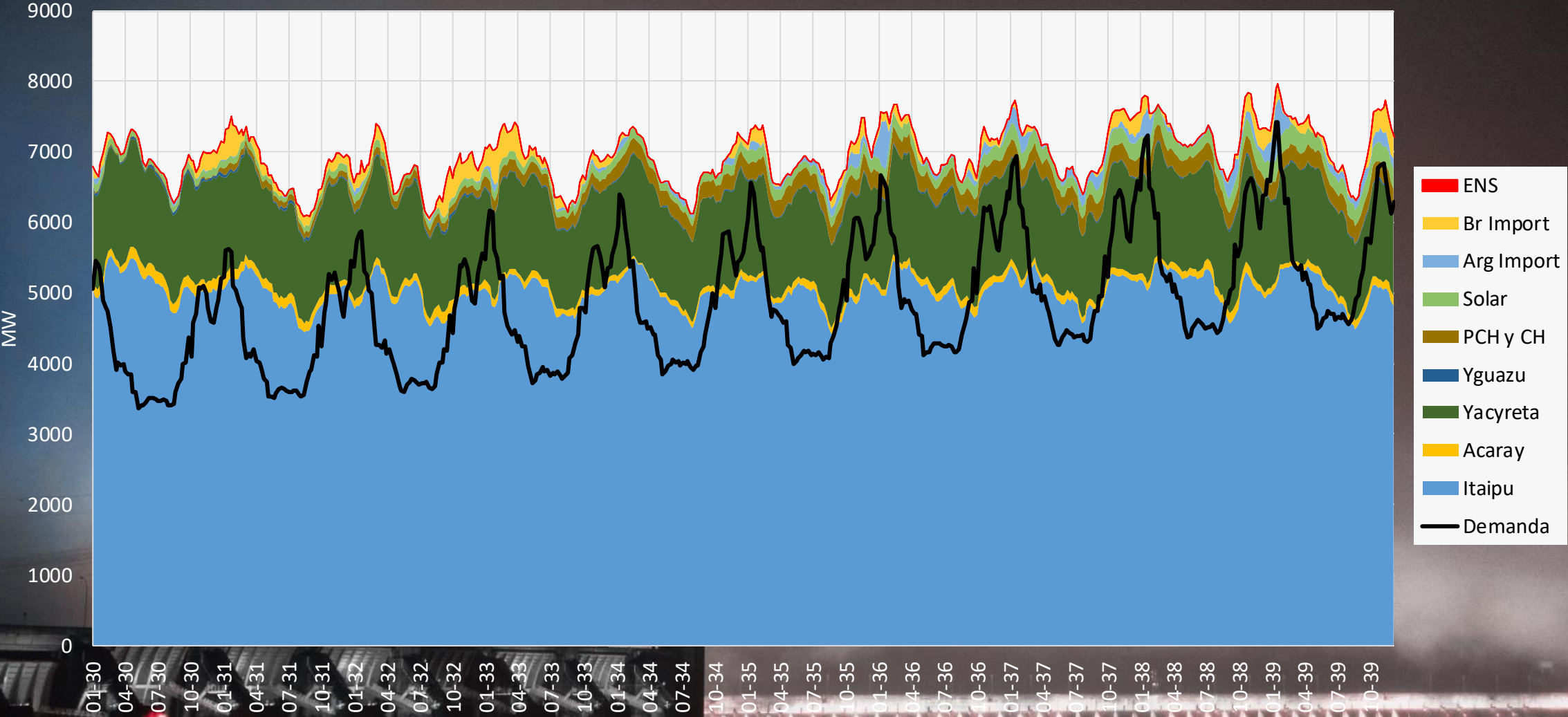
Con interconexión – Sin Inversión



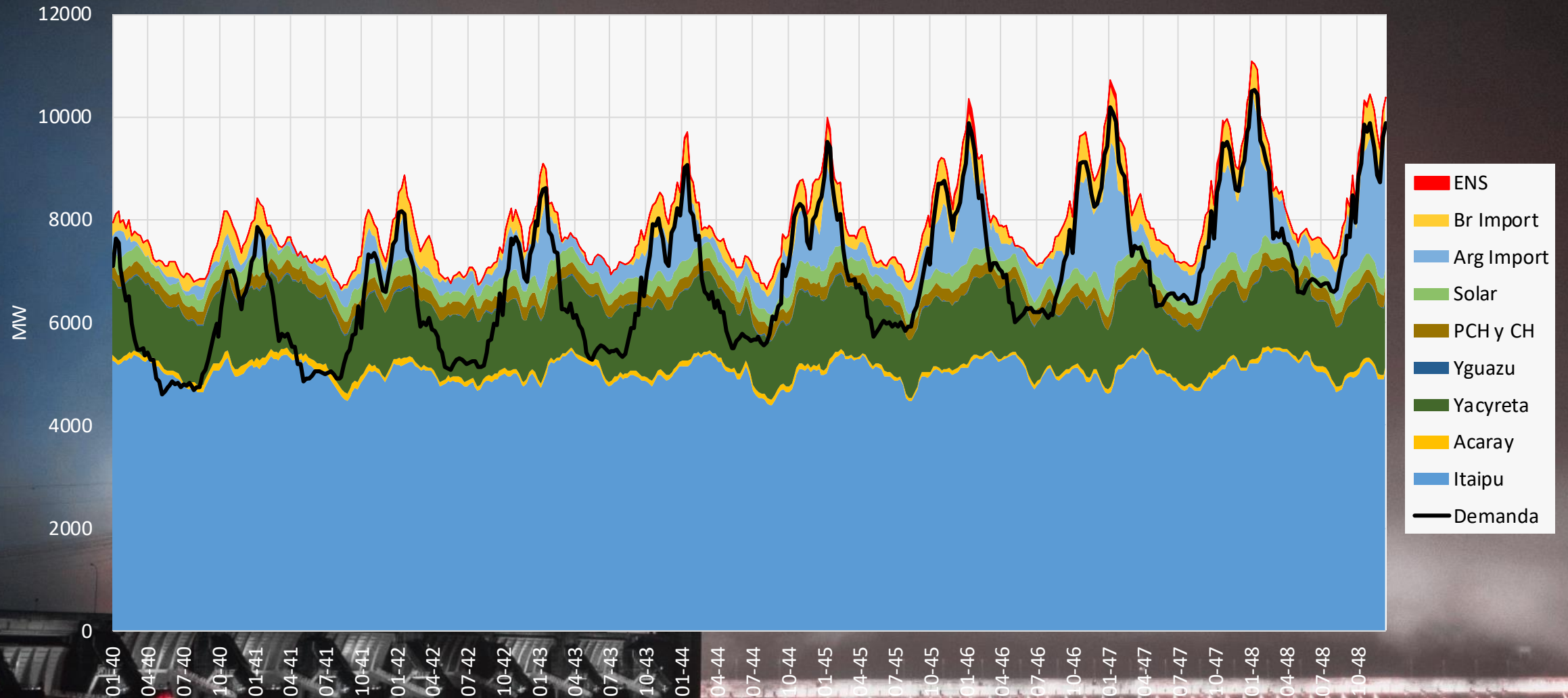
Sin interconexión – PMG



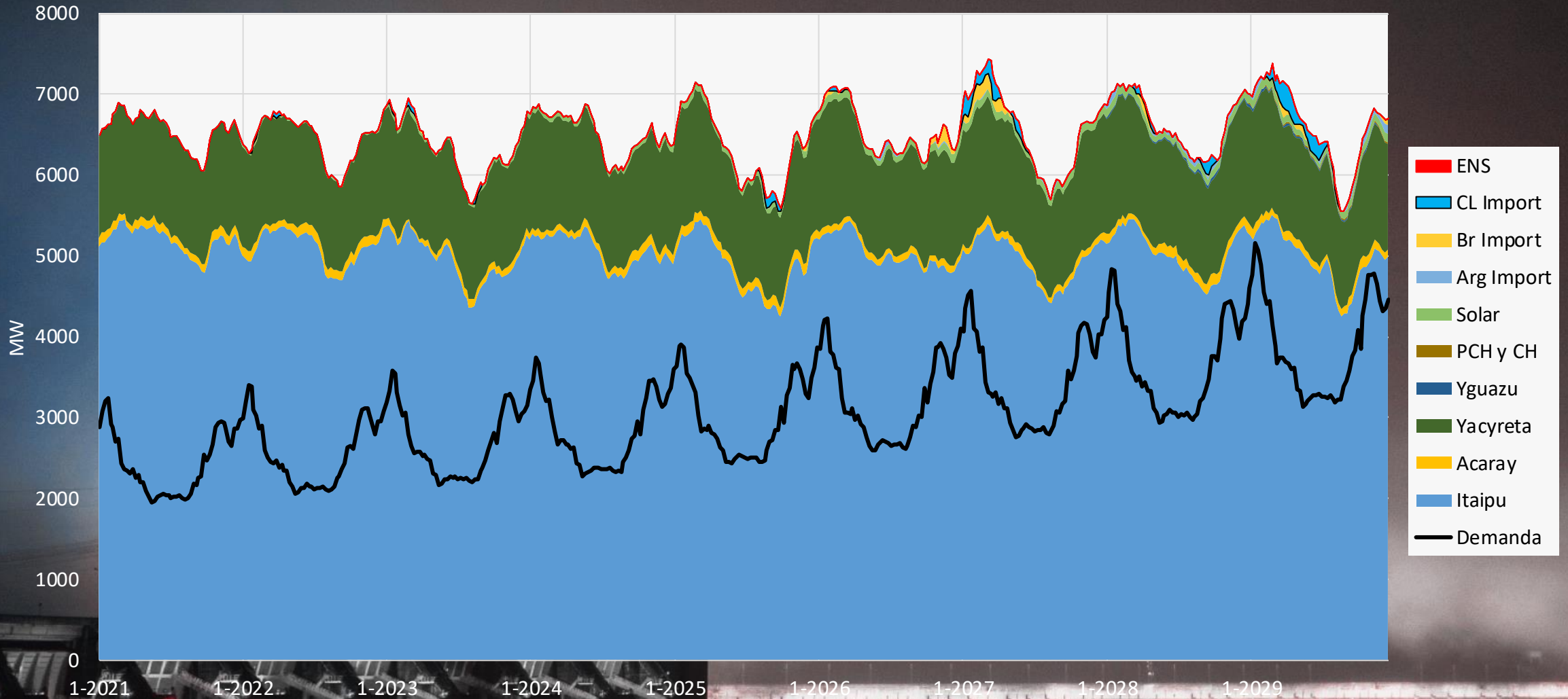
Sin interconexión – PMG



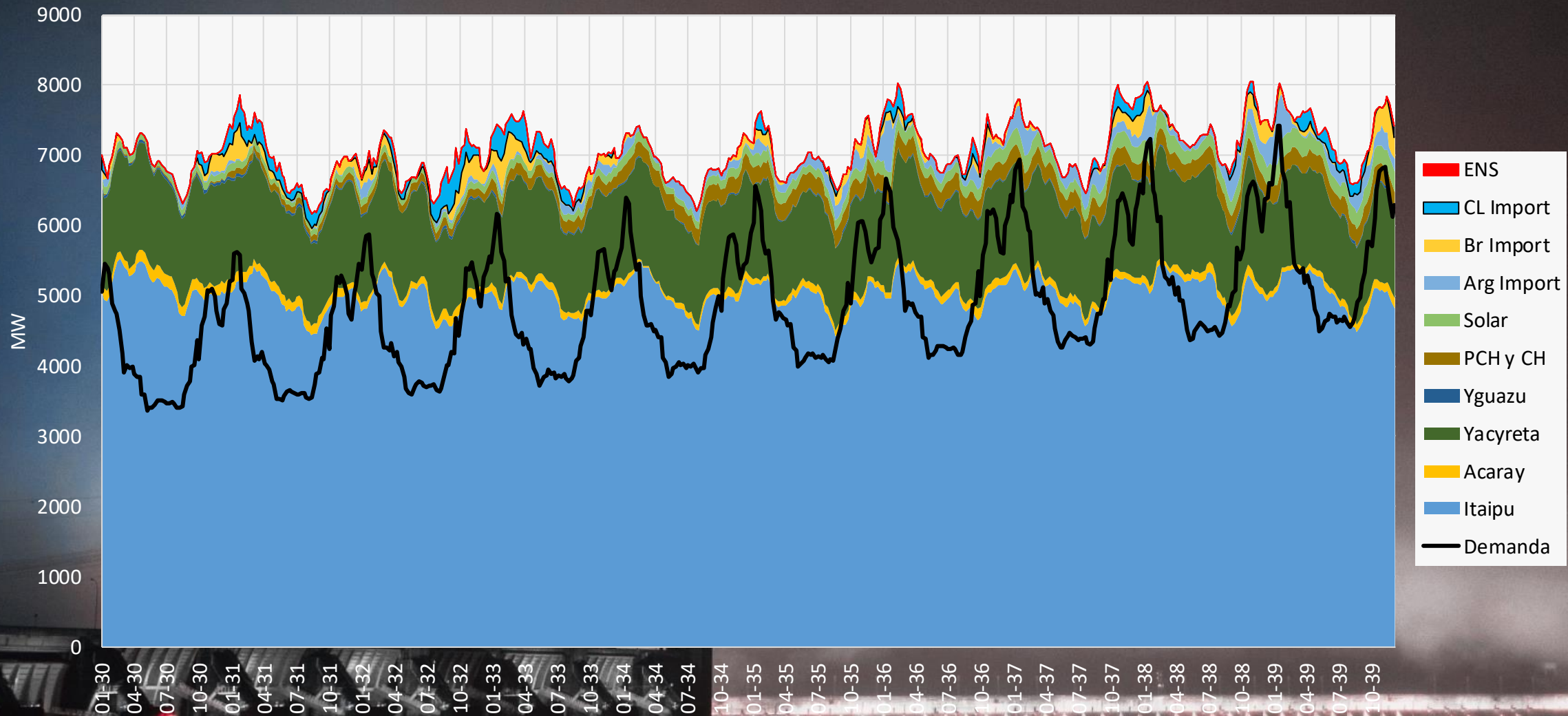
Sin interconexión – PMG



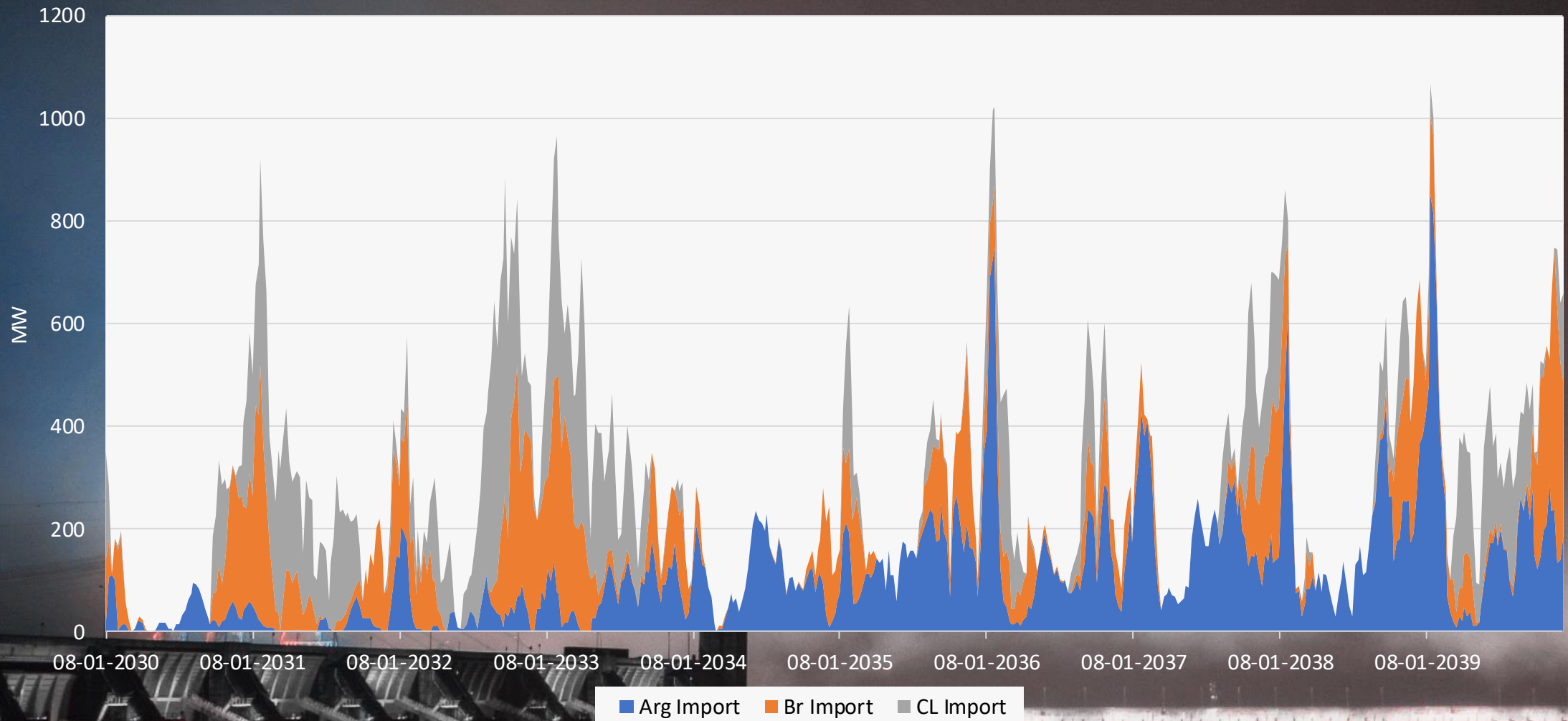
Con interconexión – PMG



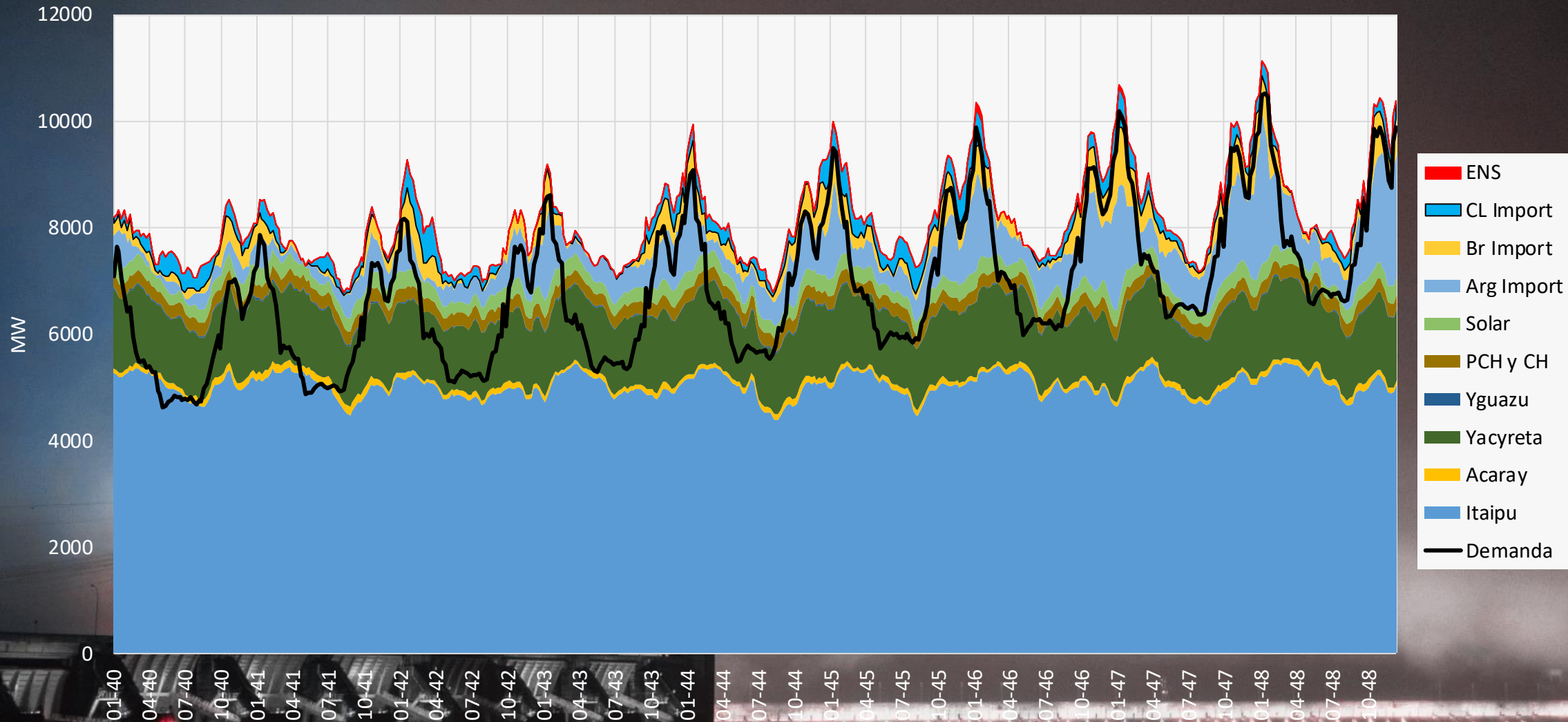
Con interconexión – PMG



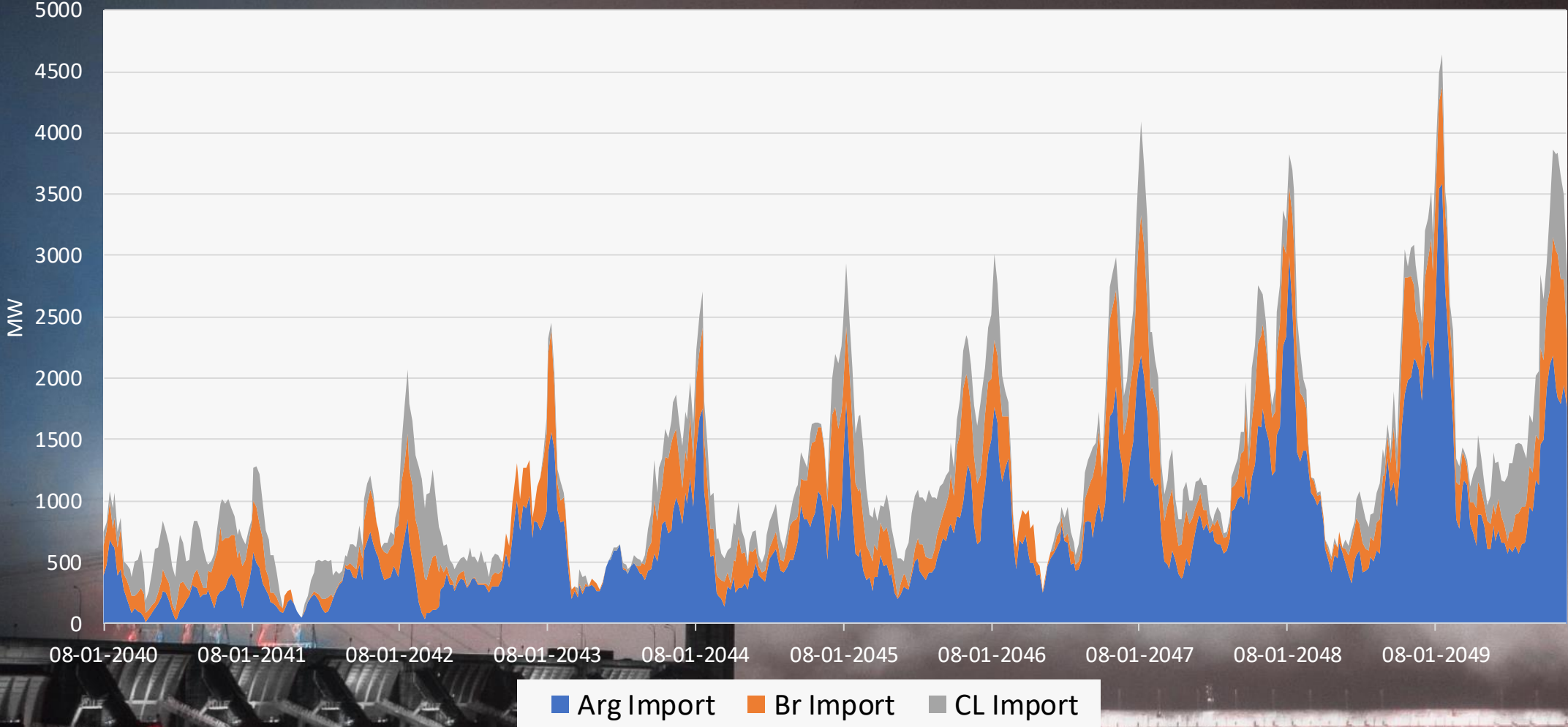
Con interconexión – PMG



Con interconexión – PMG



Con interconexión – PMG



Conclusiones Preliminares

- Paraguay es el país con más margen de generación de energía eléctrica en la región
- Paraguay tiene plan de inversiones en generaciones 3.500 millones de dólares.
 - 1600 MW solar (FP 0,17) – 550 MW (PCH+CH) – 1600 MW (Baterías 7200 MWh)
- Paraguay requiere de integración regional para evitar futuras situaciones de racionamiento.

Conclusiones Preliminares

- El margen de reserva no es el único indicador que nos podría indicar la necesidad de la integración regional
- Un sistema eléctrico con base renovable (incluso stockeable) no garantiza la seguridad energética
- La complementariedad de recursos renovables de la región podría ser la solución.

Conclusiones Preliminares

- El margen de reserva no es el único indicador que nos podría indicar la necesidad de la integración regional
- Un sistema eléctrico con base renovable (incluso stockeable) no garantiza la seguridad energética
- La complementariedad de recursos renovables de la región podría ser la solución.