



# Nueva Línea de Transmisión HVDC Norte - Centro

**Juan Carlos Araneda T.**  
Gerente de Planificación de la Transmisión

# AGENDA

- Sistema Eléctrico Nacional (SEN)
- Planificación de la Transmisión 2018
- Proyecto HVDC Kimal – Lo Aguirre
- Sistemas de Transmisión HVDC en el Mundo

# Nuevo Sistema de Transmisión Norte-Centro del SEN



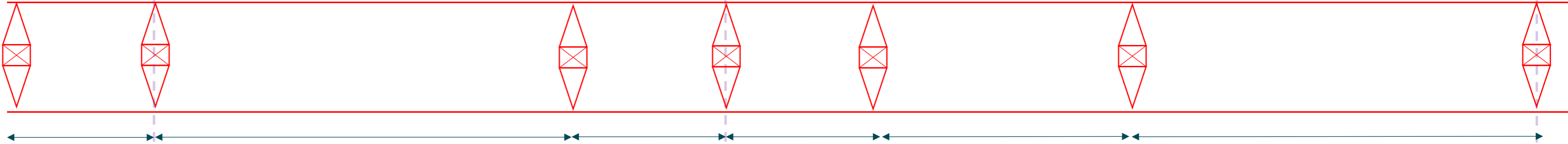
P.E.S. 2017  
KAPATUR 220 kV

## Líneas de Transmisión en 500kV

P.E.S. 2020

P.E.S. 2017

P.E.S. 2017/18



140 km

400 km

189 km

135 km

212 km

408 km

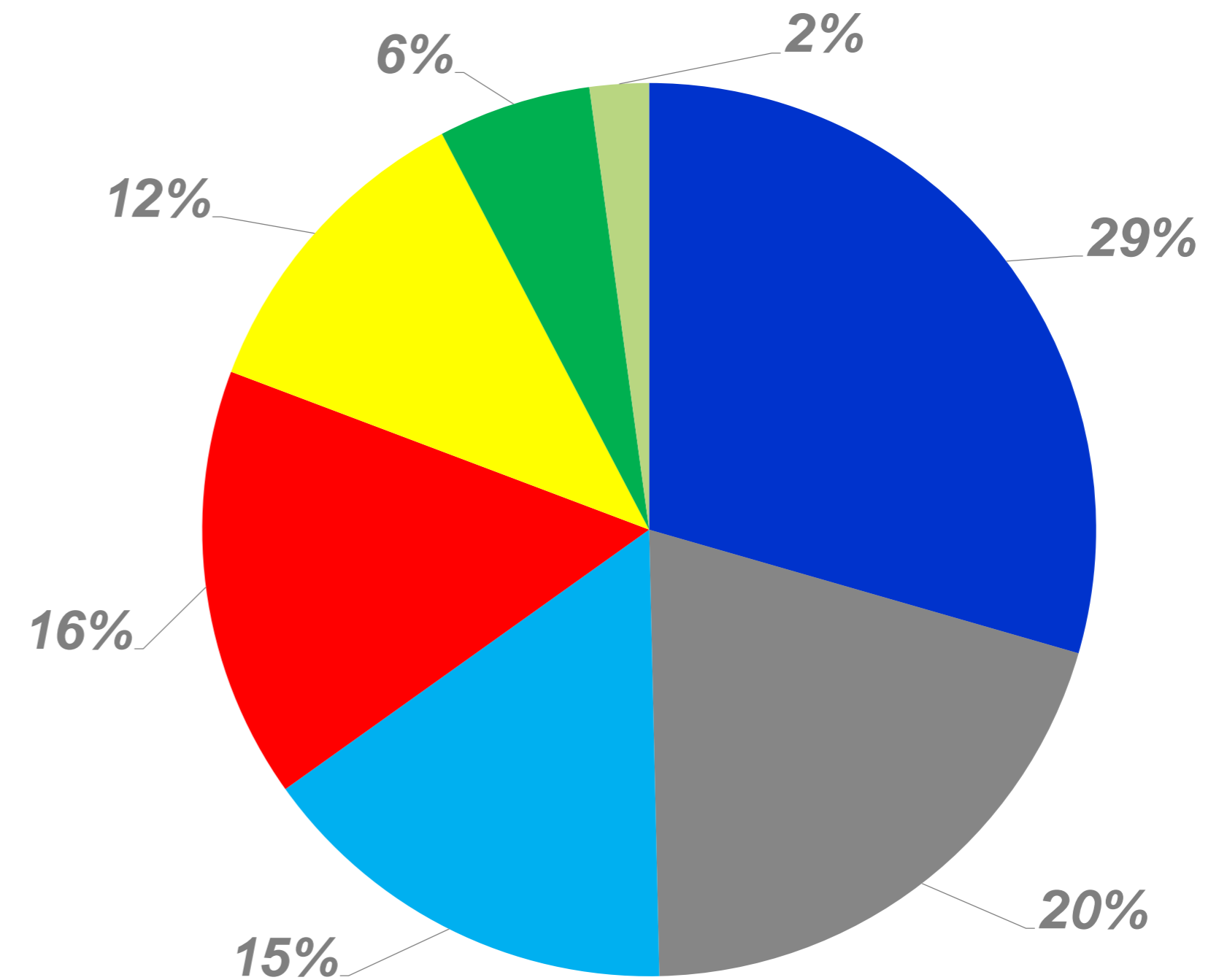


# Sistema Eléctrico Nacional (SEN) 2019



**SEN**  
3.100 km

**Capacidad Instalada: 25.111 MW**  
**Demanda Máxima: 10.523 MW**



■ Hidráulica   ■ Carbón   ■ Gas   ■ Diesel/Fuel oil  
■ Solar   ■ Eólica   ■ Otros

# Criterios de Planificación de la Transmisión (Ley 20.936/2016)

- Minimización de **riesgos** de abastecimiento, considerando eventualidades, tales como:
  - aumento de costos o **indisponibilidad** de combustibles
  - atraso o **indisponibilidad** de infraestructura energética
  - **desastres naturales** o **condiciones hidrológicas extremas**
- **Promover la oferta y facilitar la competencia**, para abastecer suministros a **mínimo precio**
- Proyectos **económicamente eficientes** y **necesarios** en los distintos escenarios energéticos
- **Modificación de instalaciones** de transmisión **existentes** de manera eficiente

La planificación deberá contemplar **holguras** y **redundancias** necesarias para incorporar los criterios anteriores.



# Metodología de Planificación del Coordinador: Co-Optimización Generación-Transmisión

## Etapa 1

- Optimización generación-transmisión multinodal simplificado

- ✓ Localización óptima de Gx.
- ✓ Montos de inversión en Gx para minimizar Gx-Tx.

## Etapa 2

- Optimización uninodal con restricciones operativas de largo plazo

- ✓ Inserción óptima ERV operativamente factible.
- ✓ Alternativas de flexibilidad.

## Etapa 3

- Simulación de la operación y evaluación del sistema de transmisión

- ✓ Propuestas de expansión de Tx óptimas por escenario.
- ✓ Propuestas recursos para proveer flexibilidad.

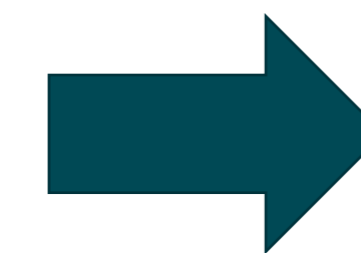
## Etapa 4

- Toma de decisión con herramientas de planificación robusta

- ✓ Plan de obras óptimo de Tx.
- ✓ Requerimientos de recursos que provean flexibilidad.

## ¿Por qué CO-OPTIMIZAR?

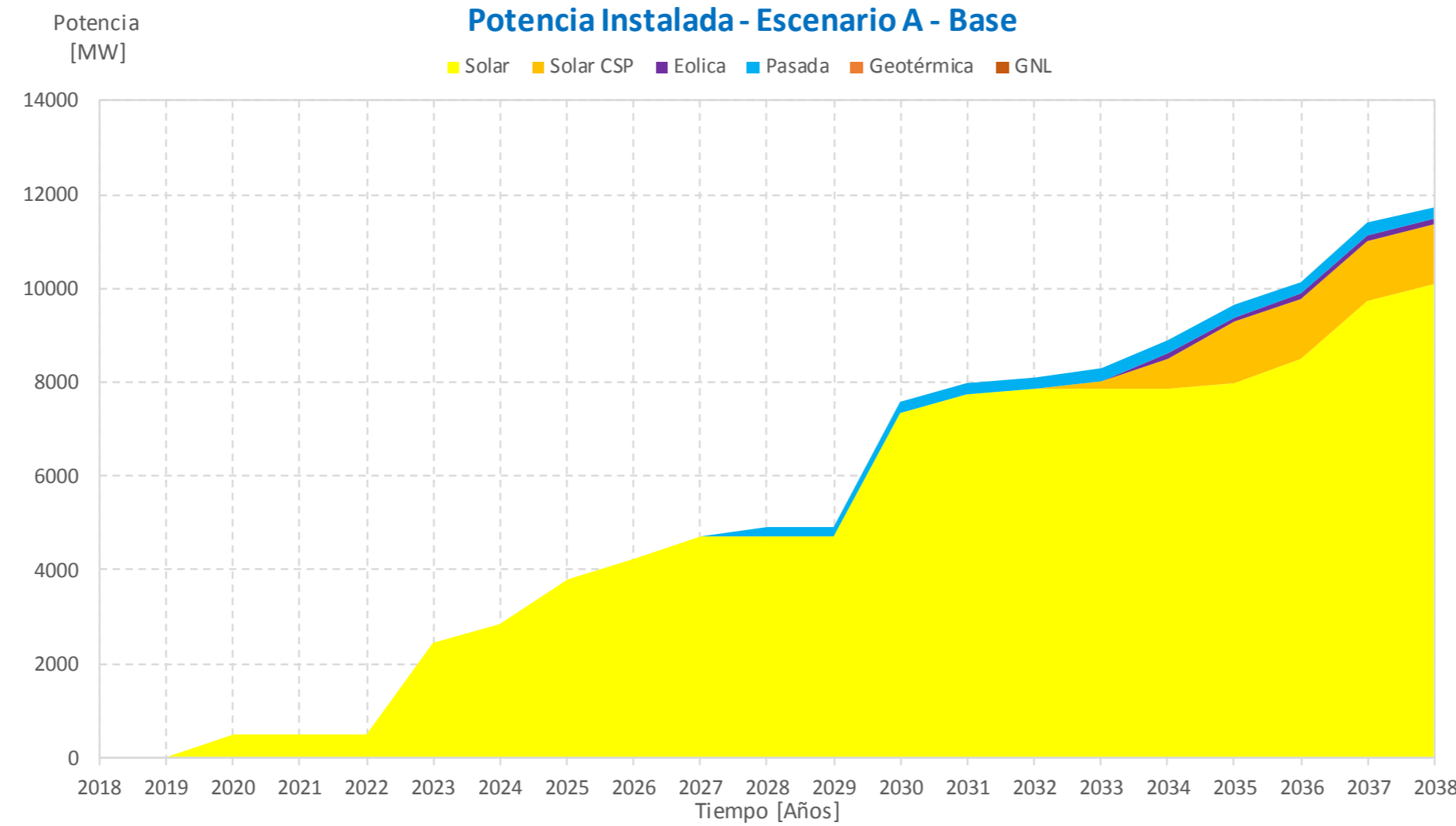
Contar con una Expansión en transmisión preparada para recibir la oferta de generación que optimice los costos conjuntos de inversión en generación y transmisión, y los costos operacionales.



Transmisión óptima  
brinda señal de  
**LOCALIZACIÓN**

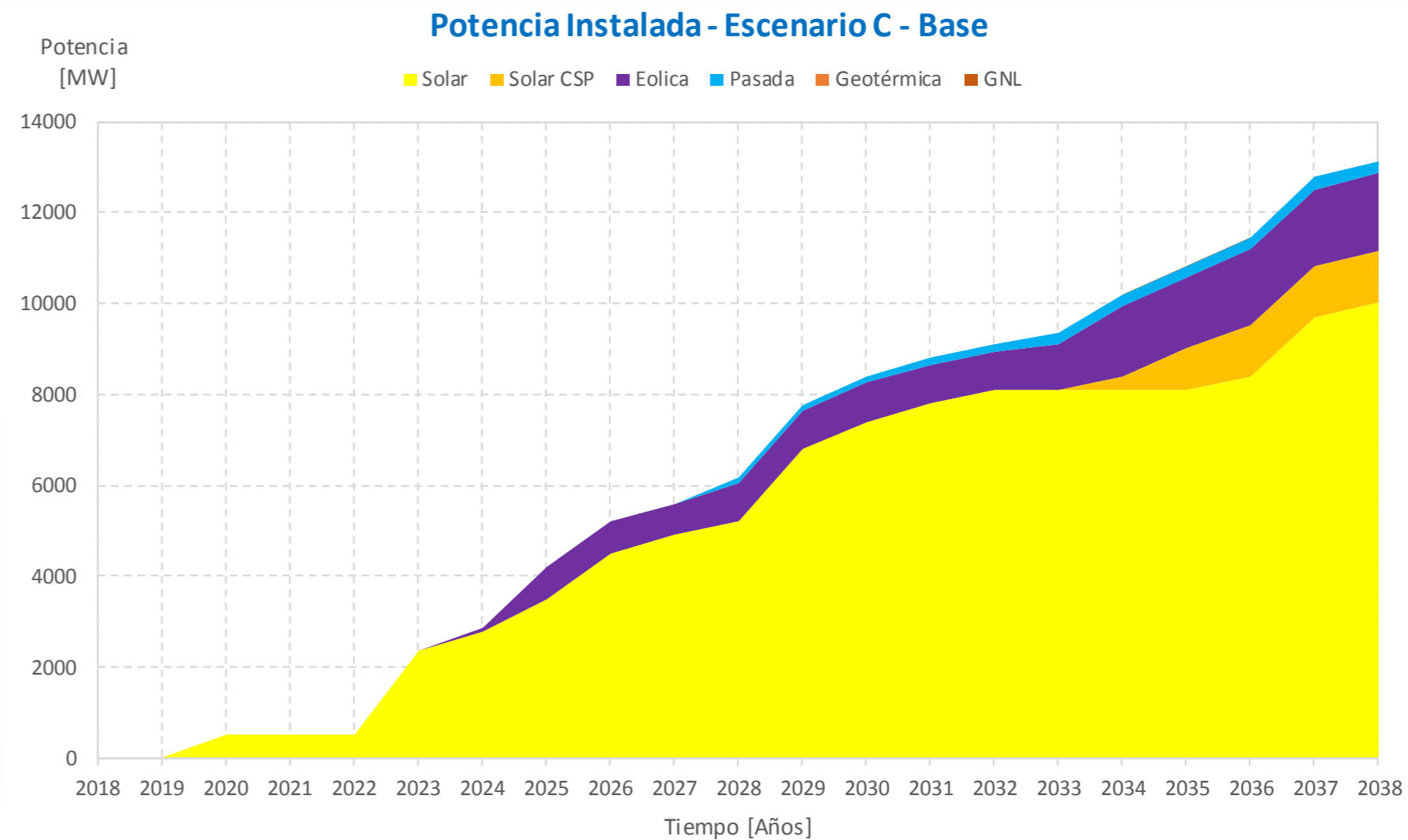
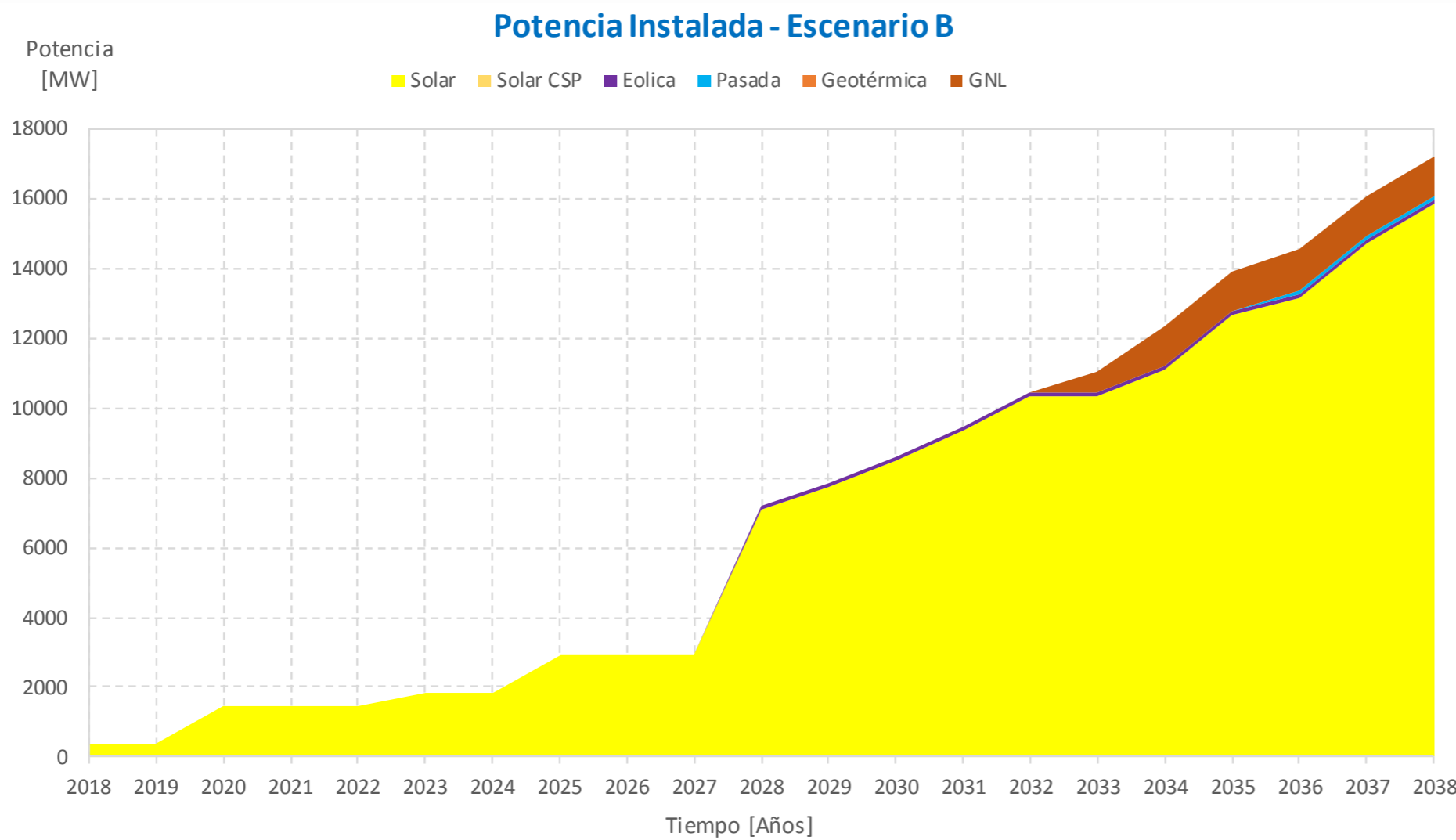
# ESCENARIOS OBRAS DE GENERACIÓN – ESTUDIO PLANIFICACIÓN 2018 COORDINADOR

Costo Inv	Escenario A-Base
CSP	Referencial
Solar	Referencial
Eólico	Referencial
Geotérmica	Referencial
Hidráulica	Referencial



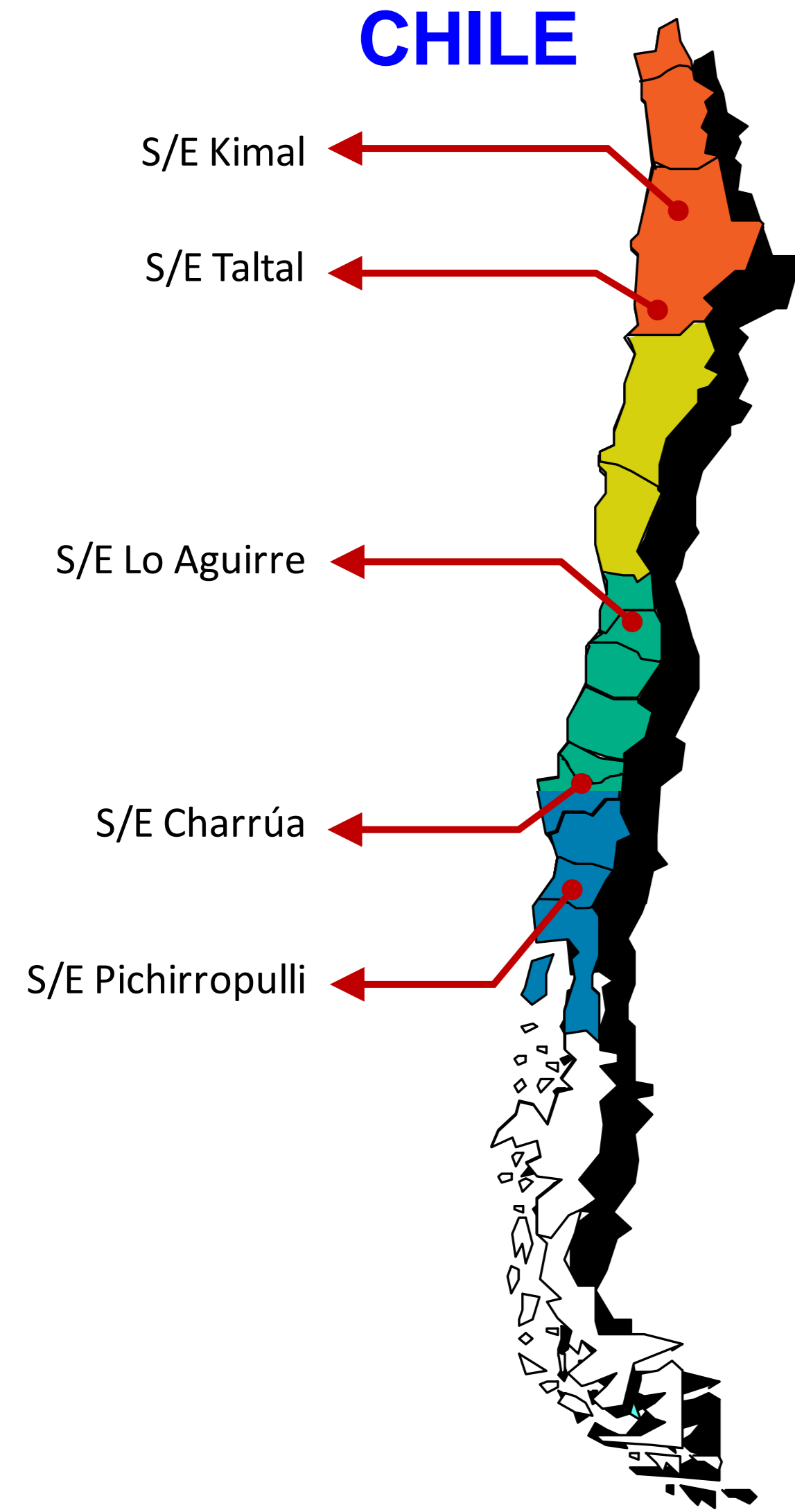
Criterios para definición de escenarios y Costos de Inversión de generación de acuerdo con la PELP.

Costo Inv	Escenario B
CSP	Alto
Solar	Bajo
Eólico	Bajo
Geotérmica	Referencial
Hidráulica	Referencial

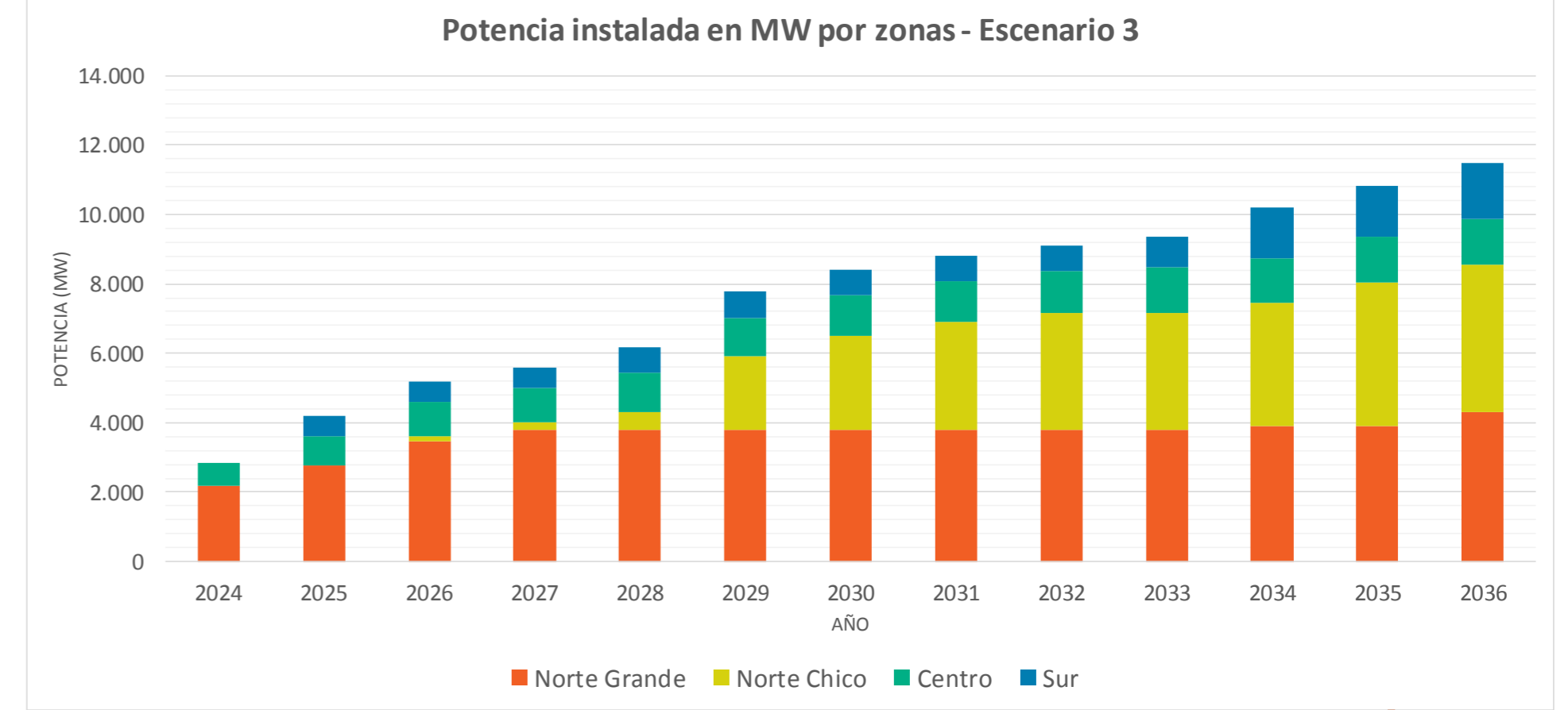
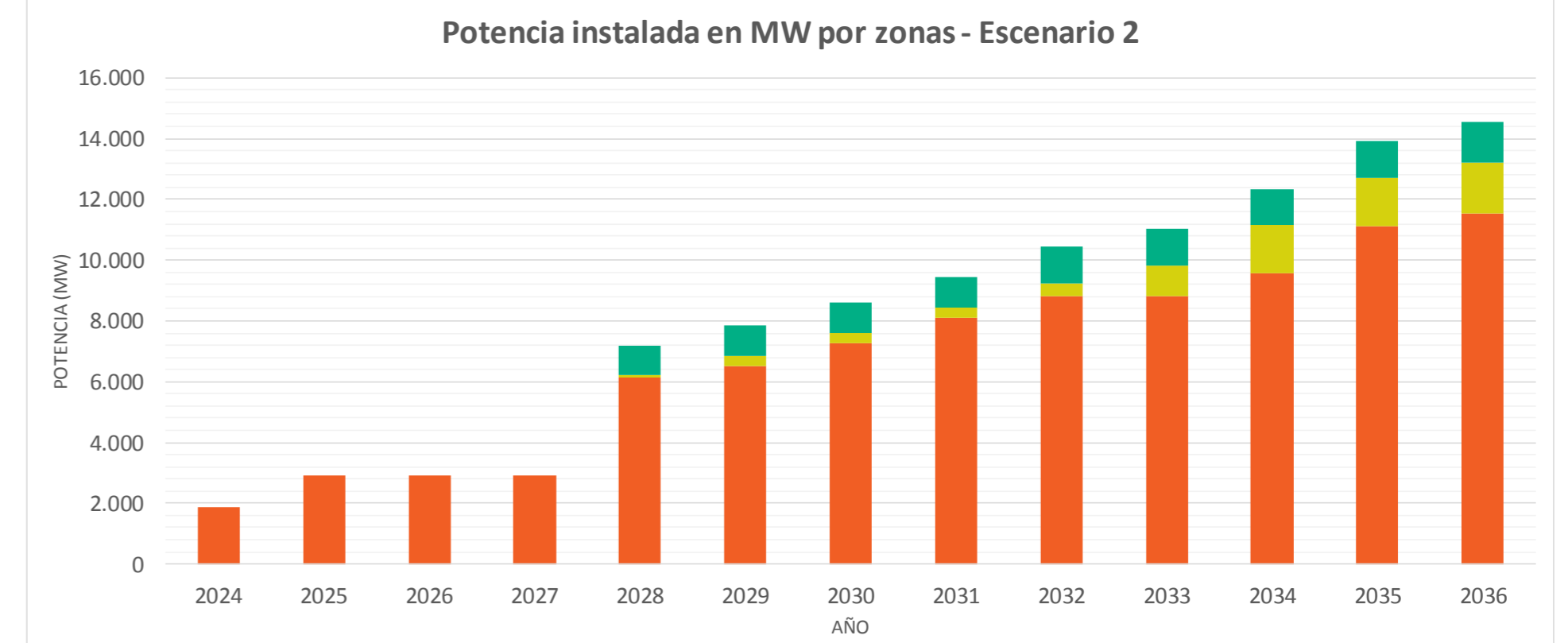
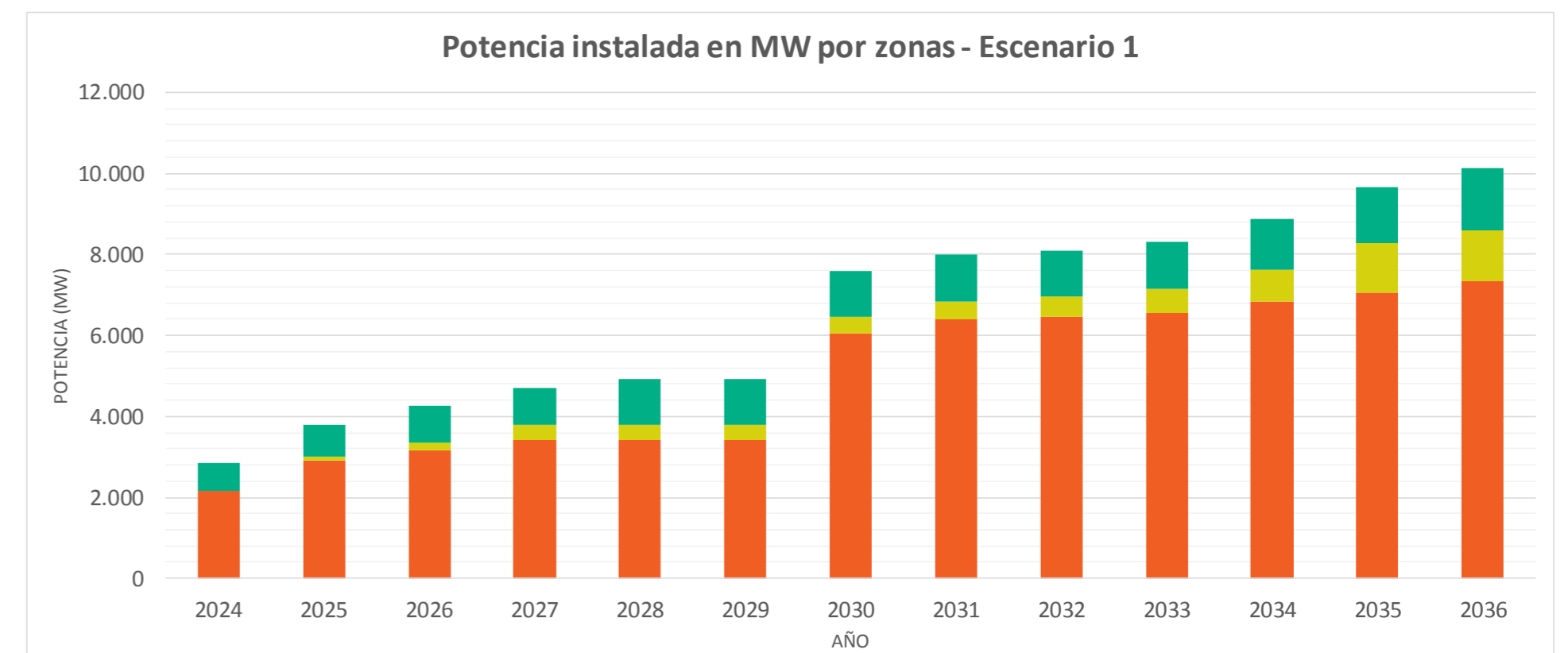
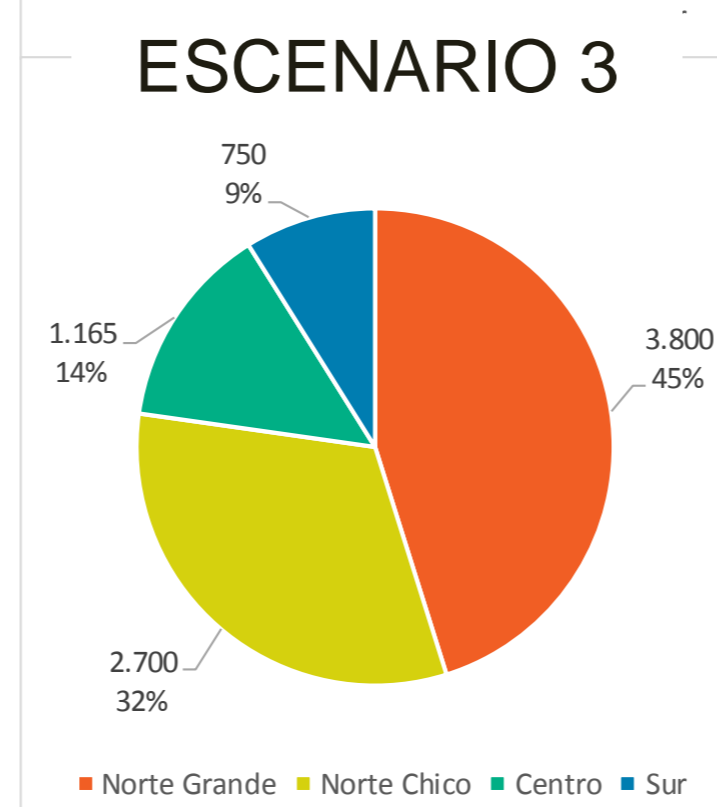
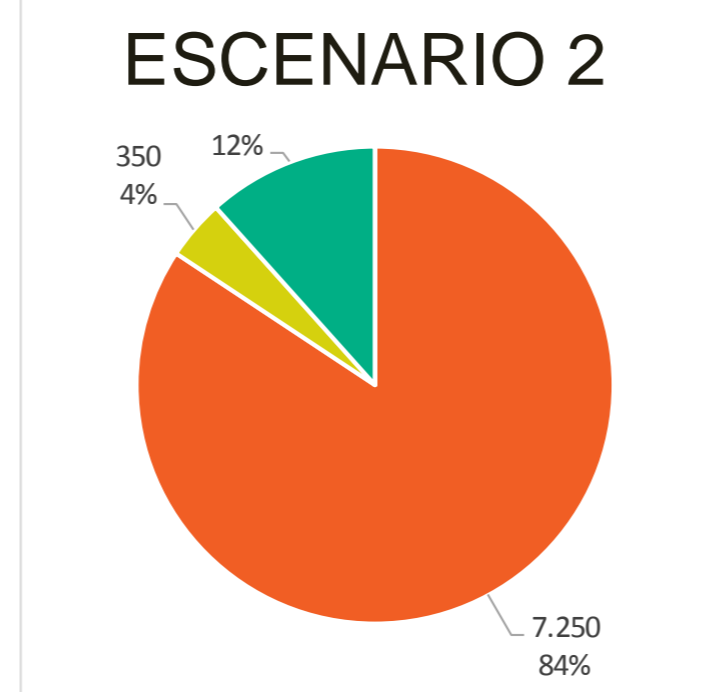
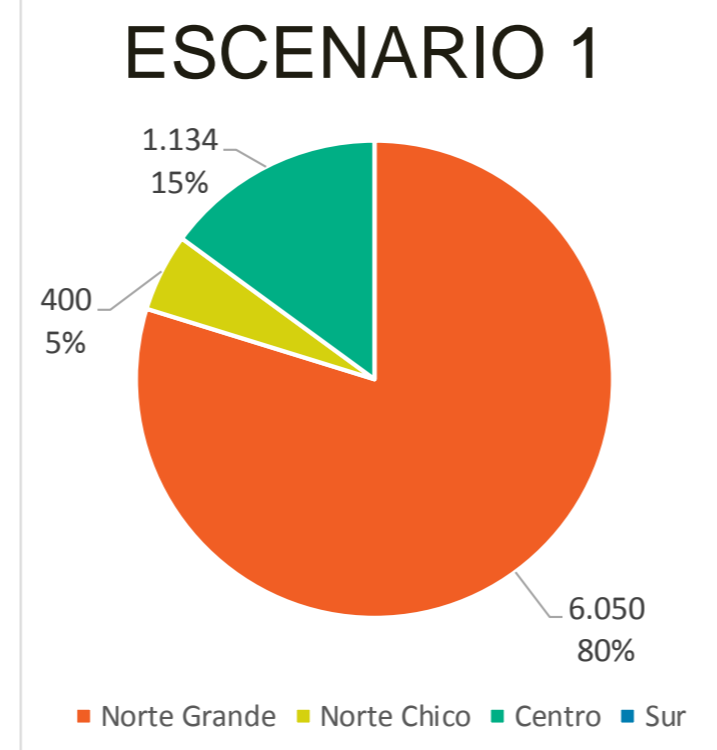


Costo Inv	Escenario C
CSP	Referencial
Solar	Referencial
Eólico	Bajo
Geotérmica	Referencial
Hidráulica	Referencial

# ESCENARIOS DE DESARROLLO DE GENERACIÓN

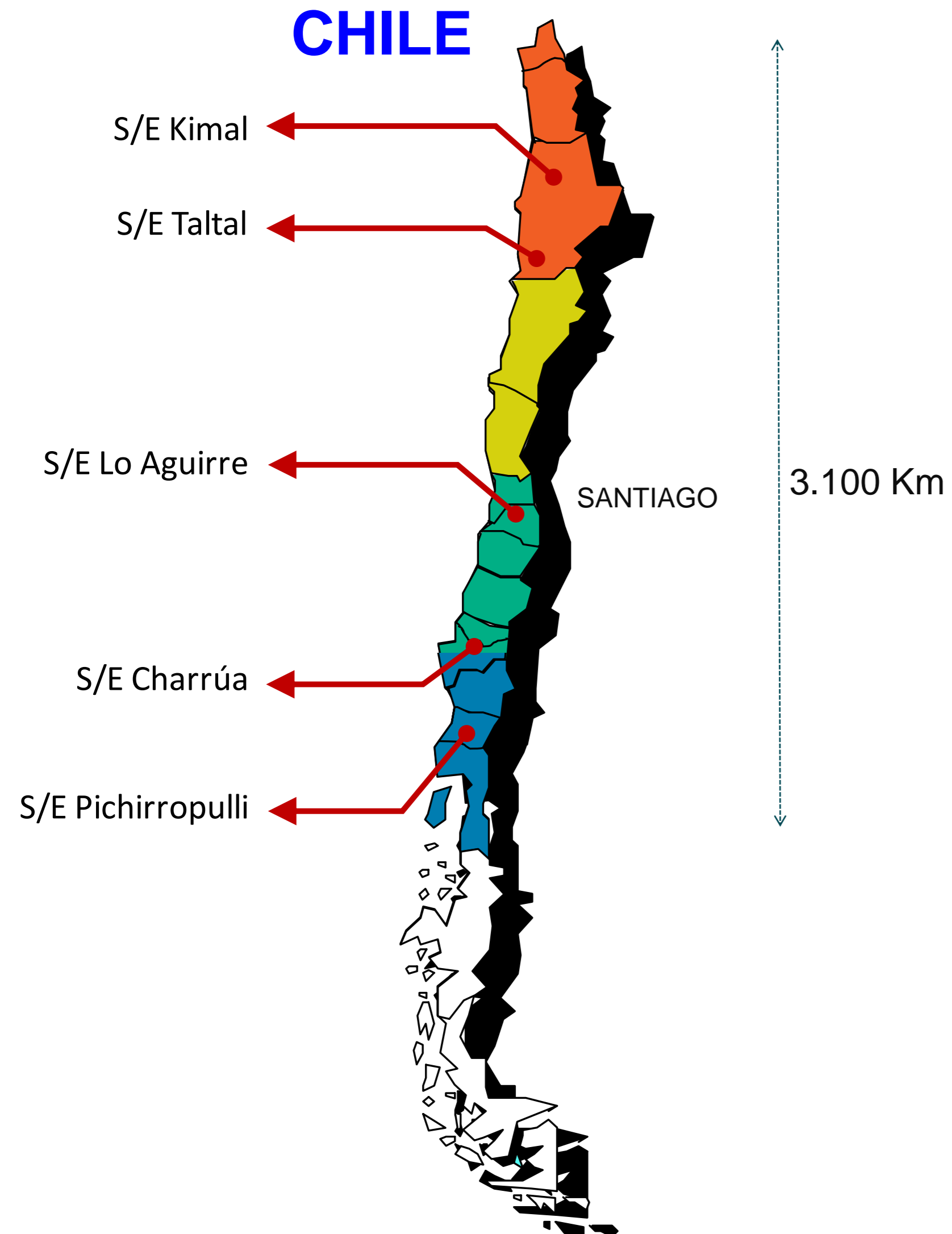


Año 2030





# DESARROLLO DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN NACIONAL



2019

2025

2030

**AC**

- 500 kV —
- 220 kV —
- 154 kV —

**DC**

- 600 kV —

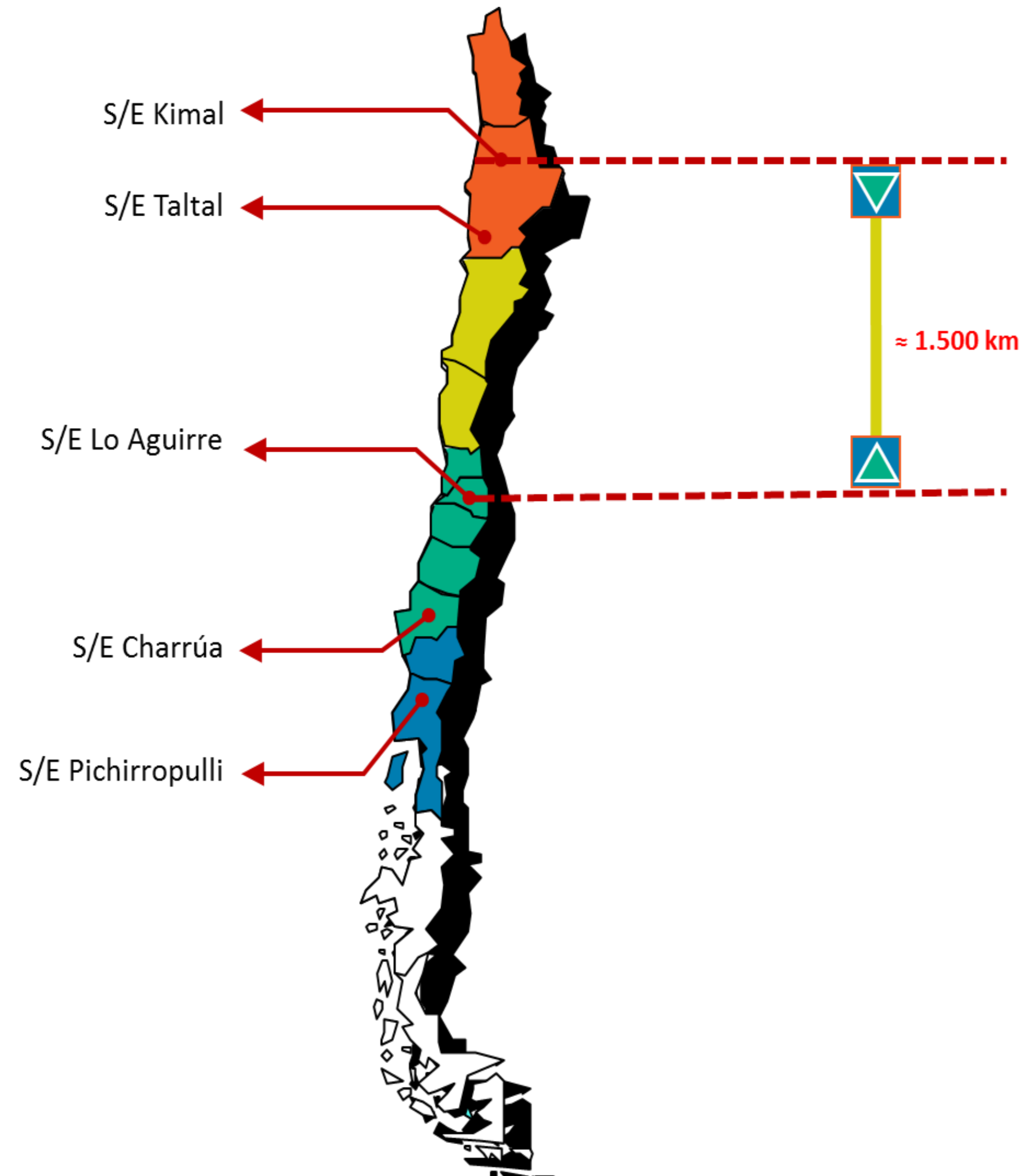
## Planificación de la Transmisión – Proceso 2018

Proyectos incluidos en Informe Técnico Definitivo de la CNE (REx N°334, 29 de mayo de 2019)

Sistema de Transmisión	Ampliaciones		Obras Nuevas	
	N°	VI (MM USD)	N°	VI (MM USD)
Transmisión Nacional	10	77	2	12
Transmisión Zonal	46	111	8	81
Línea HVDC Kimal – Lo Aguirre			1	1,176 (*)
Sub Total	56	188	11	1,269
<b>Total MMUSD</b>			<b>1,457</b>	

Nota (\*): Capacidad al menos 2,000 MW  
 Condicionado por la CNE a una evaluación posterior a la definición de la Franja

# Proyecto HVDC KIMAL – LO AGUIRRE (Propuesto por CNE)



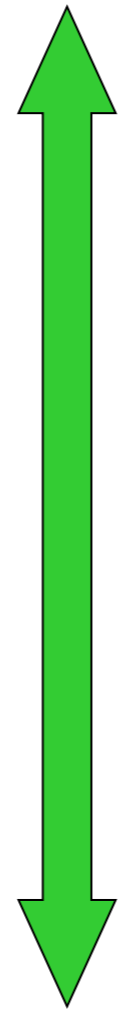
1	Corriente	Continua (HVDC)
2	Tecnología	A definir (LCC or VSC)
3	Tensión	$\pm 600$ kV (al menos)
4	Capacidad	2,000 MW (al menos)
5	Número de polos	2
6	Número de Terminales	A definir: 2 o 3
7	Longitud	$\approx 1,500$ km
8	Puesta en Servicio	2029

# Potenciales Aplicaciones HVDC en el SEN

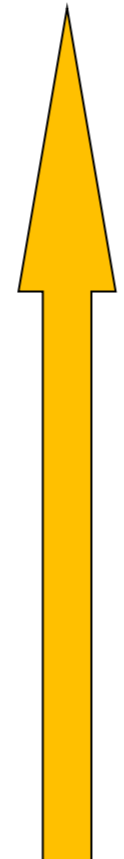
Interconexión Back-to-Back  
Chile (50 Hz) –Perú (60 Hz)



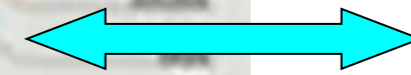
**Sistema HVDC Kimal - Lo Aguirre  
(1500 km)  
Incluido en Plan de Expansión  
Transmisión 2018 CNE**



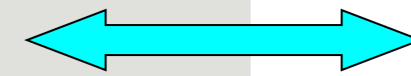
Sistema HVDC Aysén  
(2000 km)



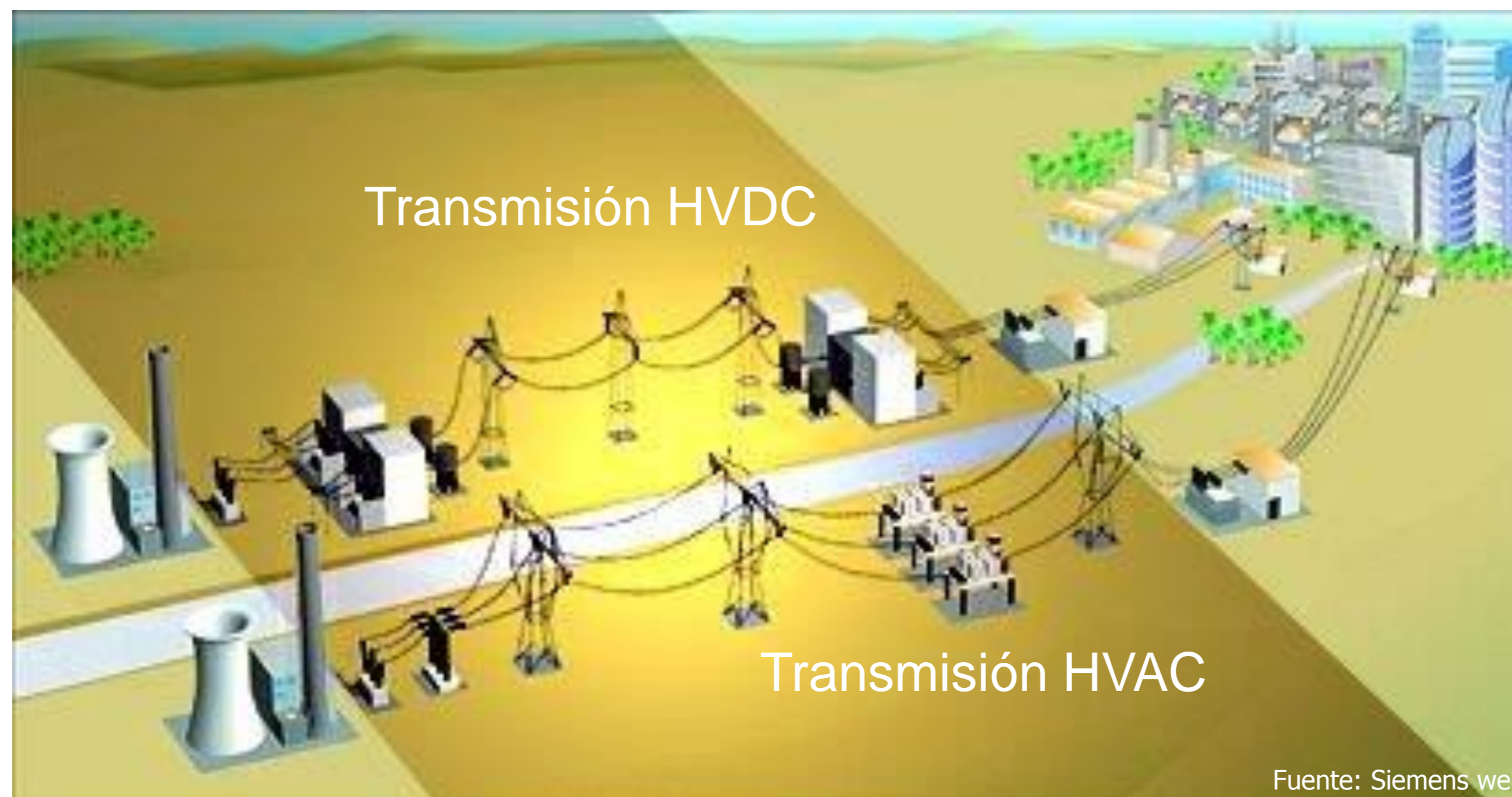
Interconexión Back-to-Back  
Chile – Argentina



Interconexión Back-to-Back  
Chile – Argentina



# Desarrollo histórico de la Transmisión en Corriente Continua

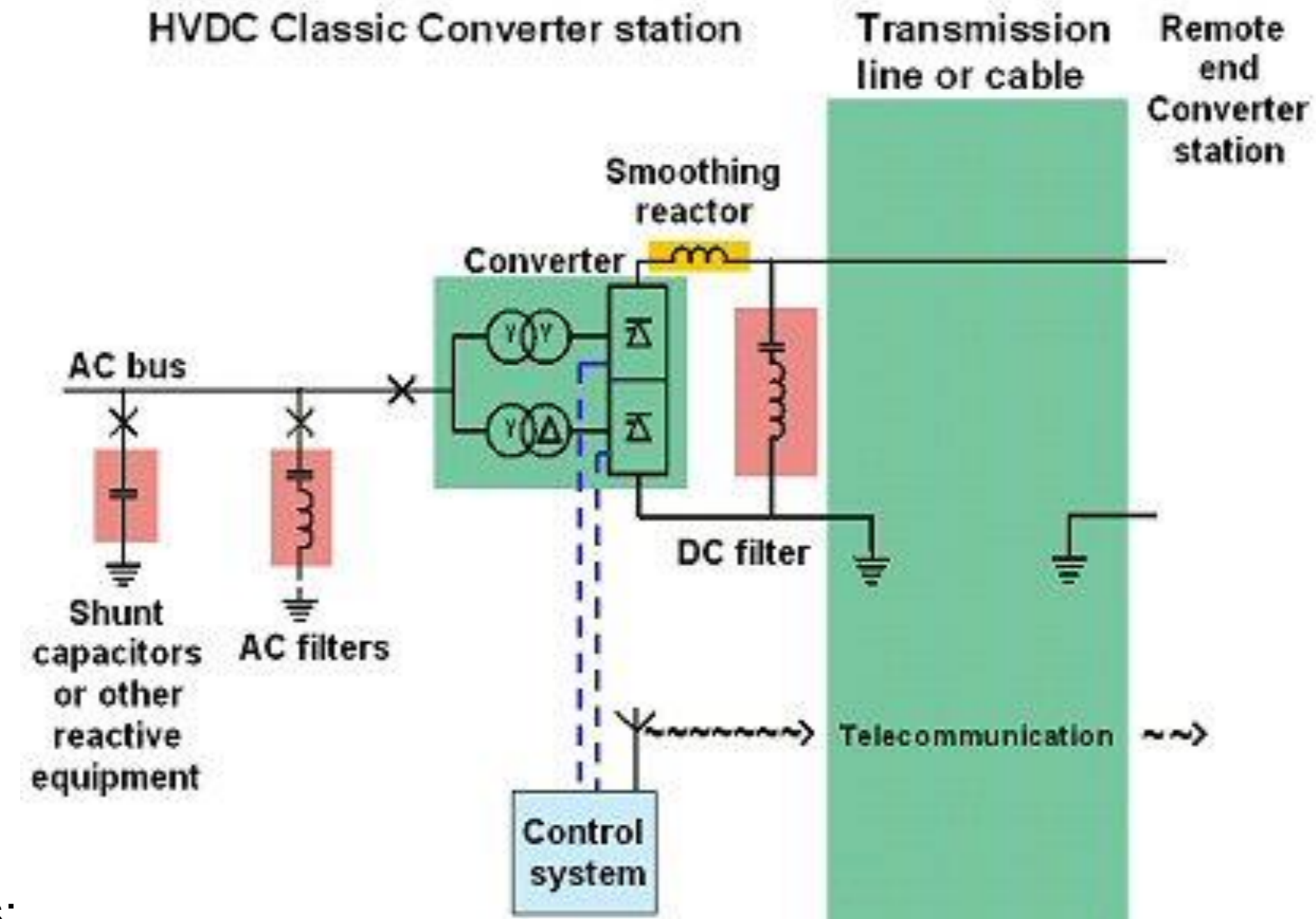


El primer sistema comercial en continua se construyó en 1954 y unió la isla de Gotland con Suecia (100 kV, 20 MW), con un cable submarino de 98 km.

En 1967 se inicia el uso de las válvulas de estado sólido (tiristores) en la transmisión HVDC y se aplican nuevamente en el enlace Gotland-Suecia.

En 1968 se usan tiristores en el proyecto Cahora Bassa con la mayor tensión (533 kV), mayor potencia (1920 MW) y longitud (1420 km).

# Tecnología HVDC Clásica o LCC (Line Commutated Converter)



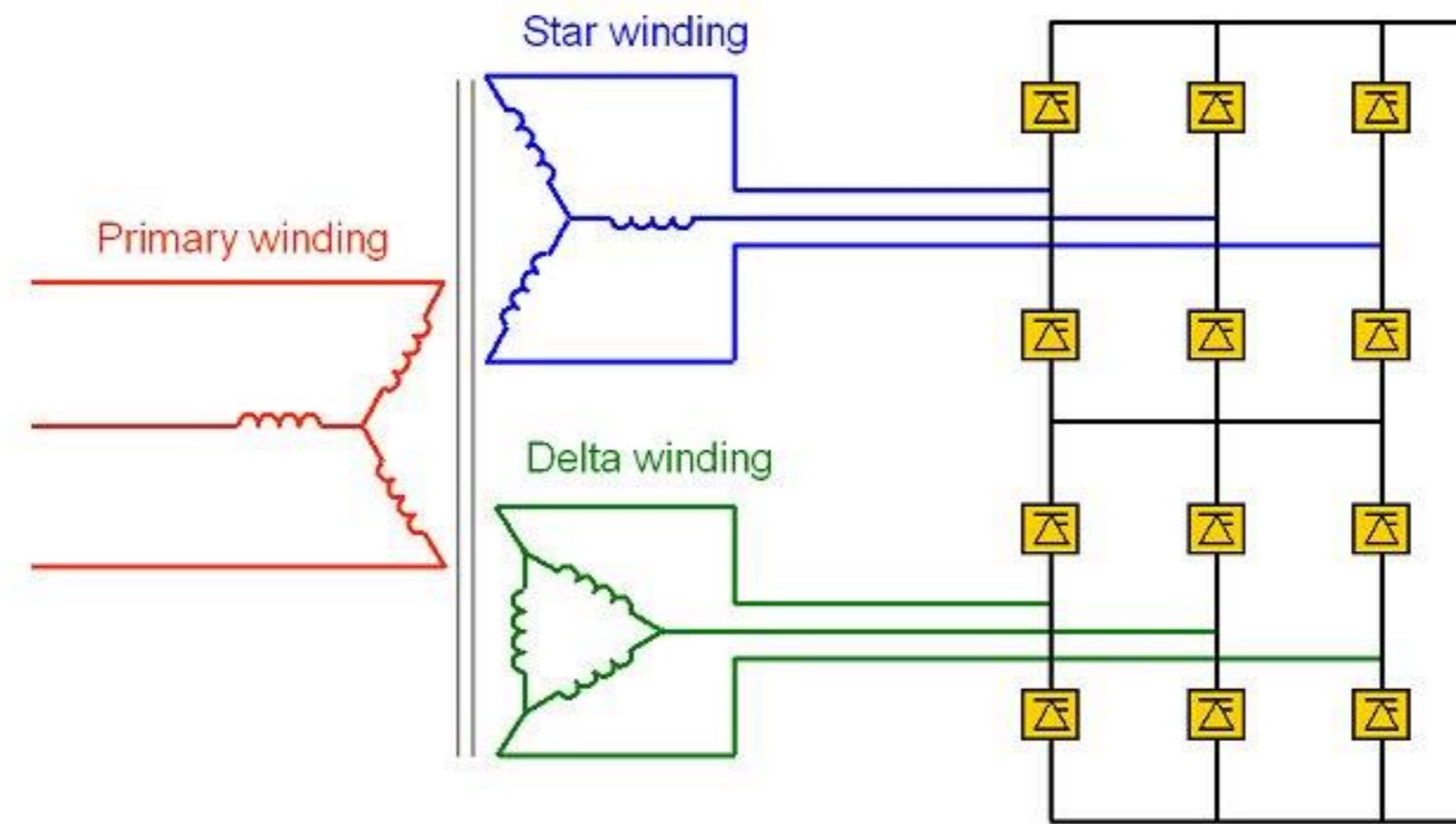
Fuente: ABB web

Instalaciones principales:

- Conversora AC/DC
- Transformadores de la conversora
- Línea de transmisión o cable
- Filtros y reactor de alisamiento en lado DC
- Filtros de armónicos y compensación reactiva en el lado AC

# Conversora AC/DC

## 12-pulse converter for HVDC



Fuente: ABB web

La Conversora AC/DC o DC/AC utiliza válvulas de tiristores dispuestos en un convertidor de 12 pulsos.

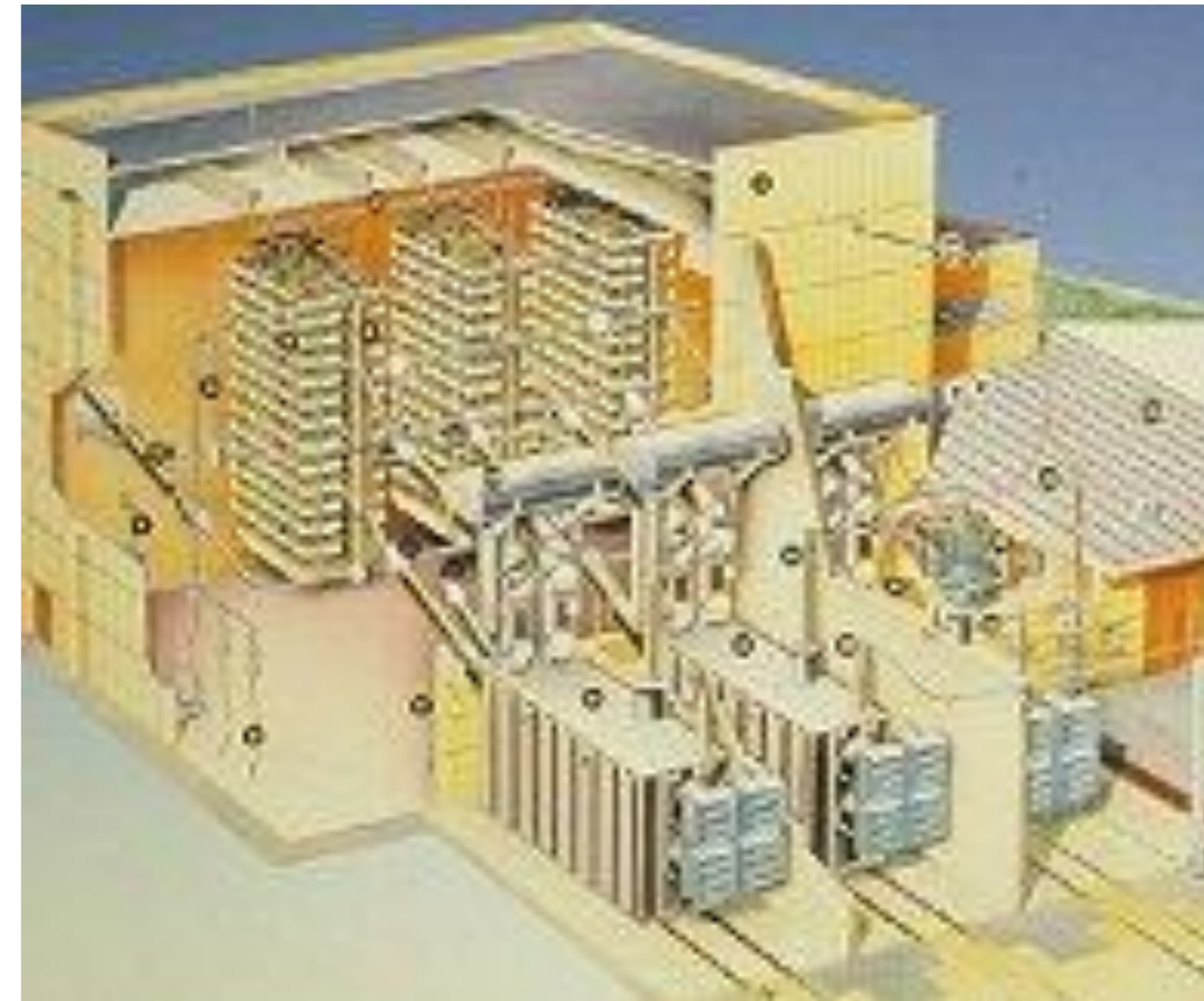
Las válvulas se conectan al sistema AC mediante dos transformadores, uno en conexión estrella-estrella y el otro estrella-delta (desfase de  $30^\circ$ ), para que el convertidor entregue una tensión DC de 12 pulsos.

En el lado DC se producen armónicos de orden  $12n$ , lo que requiere de filtros y un reactor de alisamiento en lado DC.

En el lado AC se producen armónicos de orden  $12n \pm 1$ , lo que requiere el uso de filtros AC.

Los sistemas HVDC LCC requieren de una razón de cortocircuito mayor a 2,5.

# Convertora AC/DC



Edificio de la convertora, sala de válvulas y transformadores, proyecto ABB



Sala de válvulas, proyecto ABB



Sala de válvulas, proyecto Siemens



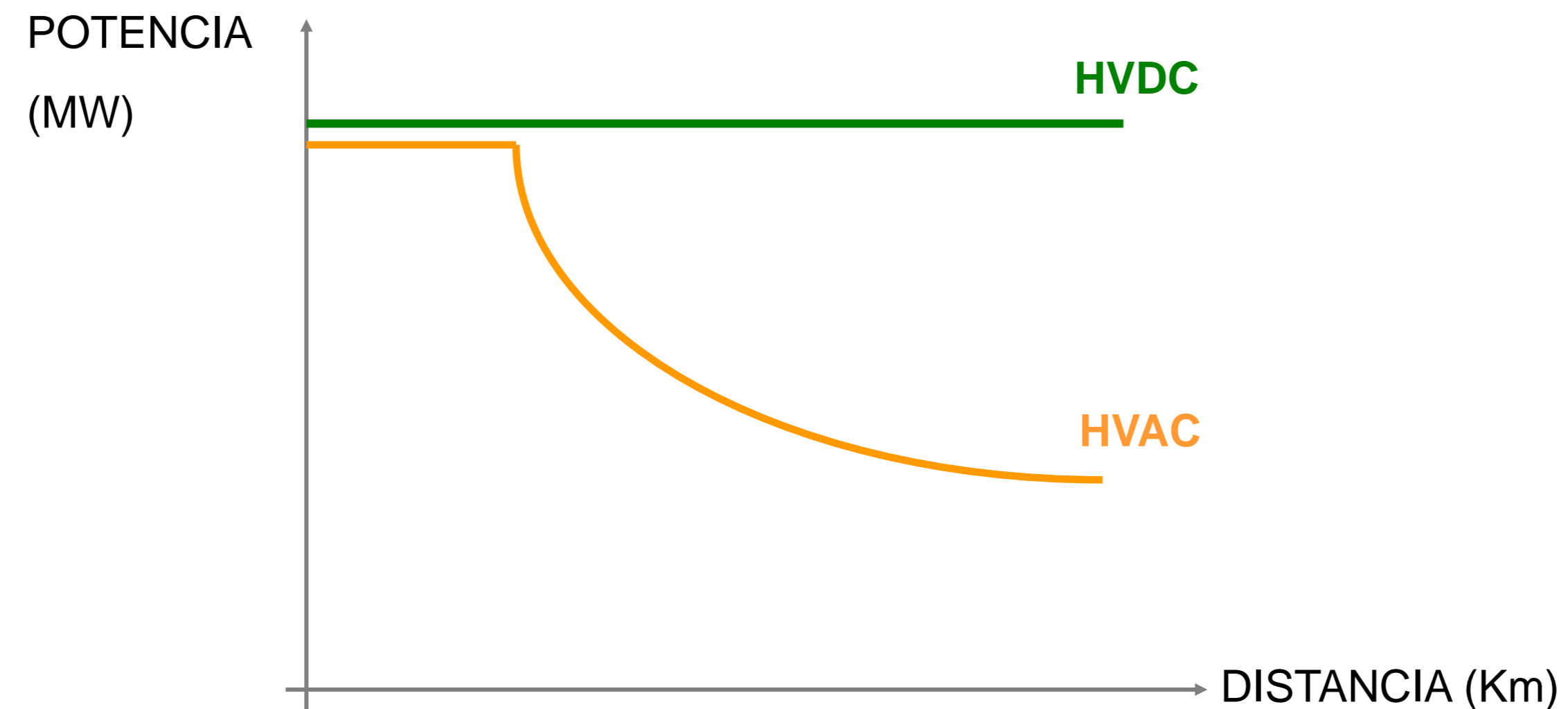
# Tecnología HVDC VSC (Light o Plus)

En 1997 se inicia el uso de la tecnología VSC (Voltage Source Converter) o HVDC Light en la transmisión HVDC y se aplican en el enlace Gotland-Suecia.

HVDC VSC se caracteriza por su mayor controlabilidad al usar IGBT y se utiliza con cables subterráneos o submarinos.

	HVDC LCC (Clásica)	HVDC VSC Light (ABB), Plus (Siemens)
Válvulas	Tiristores	IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor)
Conexión a red AC	Transformador	Reactor de fase
Filtros y compensación reactiva	50% en filtros y condensadores shunt	Sólo un pequeño filtro
Filtro en lado DC	Reactor de alisamiento y filtro DC	Condensador DC
Comunicación entre convertidoras	Si	No
Potencia máxima	12000 MW	1400 MW

# Transmisión en Corriente Continua (HVDC) versus Transmisión en Corriente Alterna (HVAC)



En un sistema HVDC la potencia transportada se puede considerar independiente de la distancia entre los puntos de conexión.

En los sistemas HVAC la capacidad de transporte disminuye con la distancia de las líneas debido a sus efectos inductivos.

Otro problema es el desfase que produce el efecto inductivo entre los extremos de una línea HVAC, lo que puede producir inestabilidad del sistema HVAC.

La transmisión HVAC por cables submarinos está limitada a 130 km debido a la alta capacidad dieléctrica de los cables, lo que no ocurre en HVDC.

# Transmisión en Corriente Continua (HVDC) versus Transmisión en Corriente Alterna (HVAC)

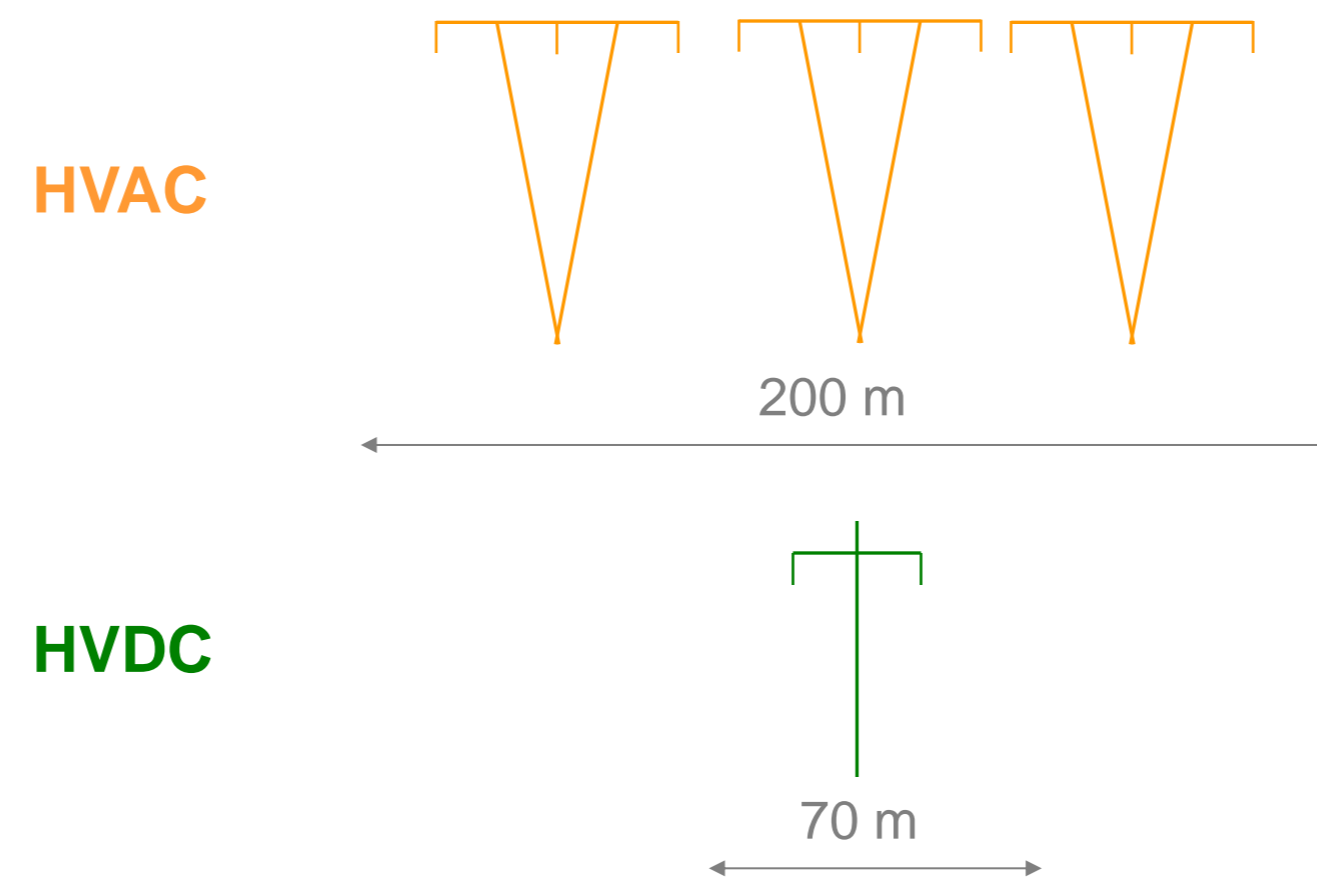
Ventajas técnicas de enlaces HVDC:

- Conexión entre redes asíncronas. Enlaces entre sistemas nacionales/internacionales de distinta frecuencia.
- Mejora de la estabilidad de red. Los sistemas HVDC permiten modular la transferencia de potencia activa para mejorar la estabilidad dinámica del sistema. Adicionalmente con los sistema de control de los filtros de reactivos y el ángulo de disparo de los tiristores es posible controlar la potencia reactiva consumida.
- En caso de un sistema bipolar, se puede mantener la operación del enlace HVDC con un % de sobrecarga del polo sano, utilizando la tierra, o un conductor dedicado, como retorno durante el período de falla.
- Los enlaces HVDC no varían el valor de la corriente de cortocircuito que tengan los sistemas AC conectados.

# Transmisión en Corriente Continua (HVDC) versus Transmisión en Corriente Alterna (HVAC)

Desde el punto de vista medioambiental, las líneas HVDC se caracterizan por:

- Menor corredor o franja de servidumbre que una línea HVAC para el mismo nivel de potencia, con torres más simples y menor impacto visual.



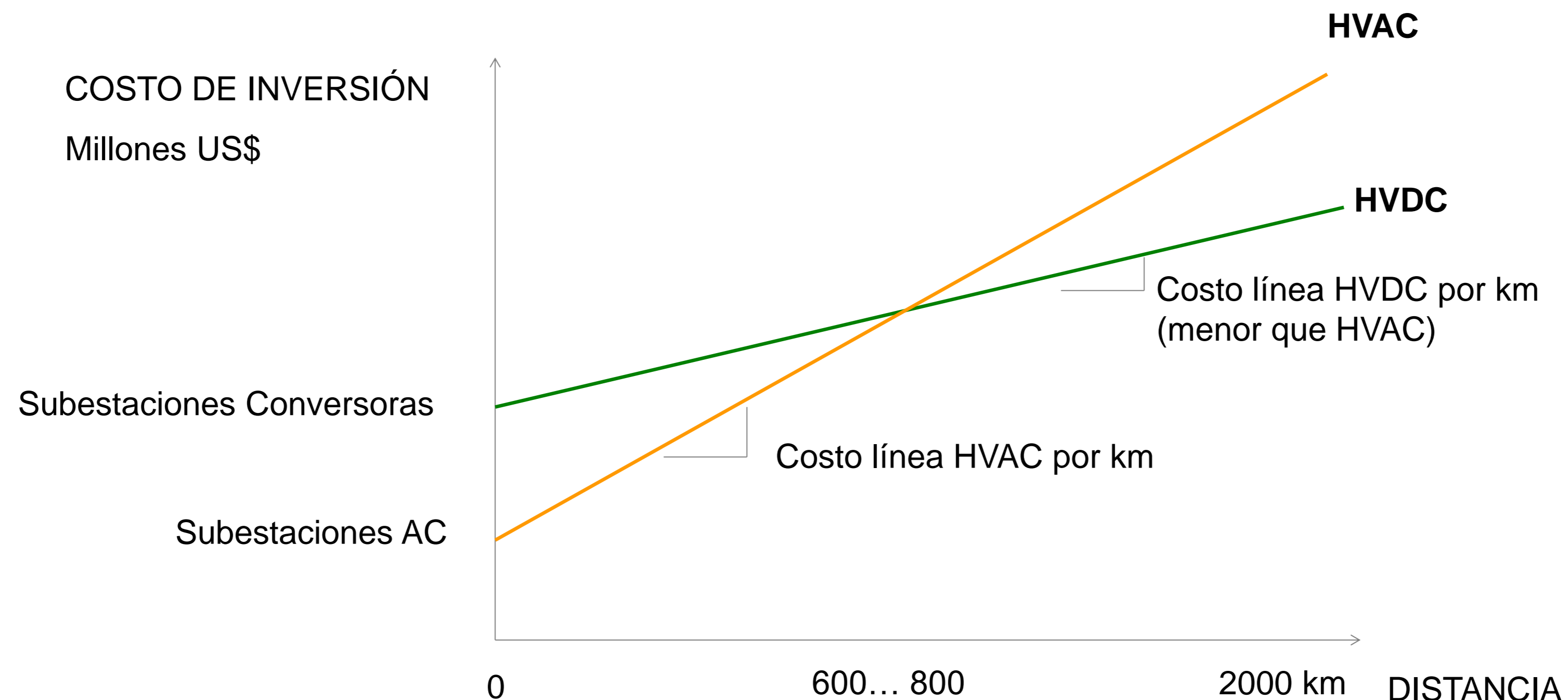
- Menor efecto corona que en líneas HVAC. Disminución del costo para reducir tal efecto.
- Los campos eléctricos y magnéticos de una línea HVDC son de la misma magnitud que los generados por la Tierra, no afectando a seres vivos.
- Posibilidad de conectar vía cable submarino a sistemas aislados en distancias mayores que con cables HVAC.

# Transmisión en Corriente Continua (HVDC) versus Transmisión en Corriente Alterna (HVAC)

Ventajas económicas de enlaces HVDC:

Las subestaciones HVDC tienen un mayor costo de inversión que las subestaciones HVAC debido a los costos de los equipos de conversión AC/DC o DC/AC.

Una línea HVDC presenta menores costos de inversión que una línea HVAC (menor número de conductores, estructuras más simples, menores pérdidas), a igual nivel de potencia transportada y para una distancia de transporte mayor a una distancia crítica.

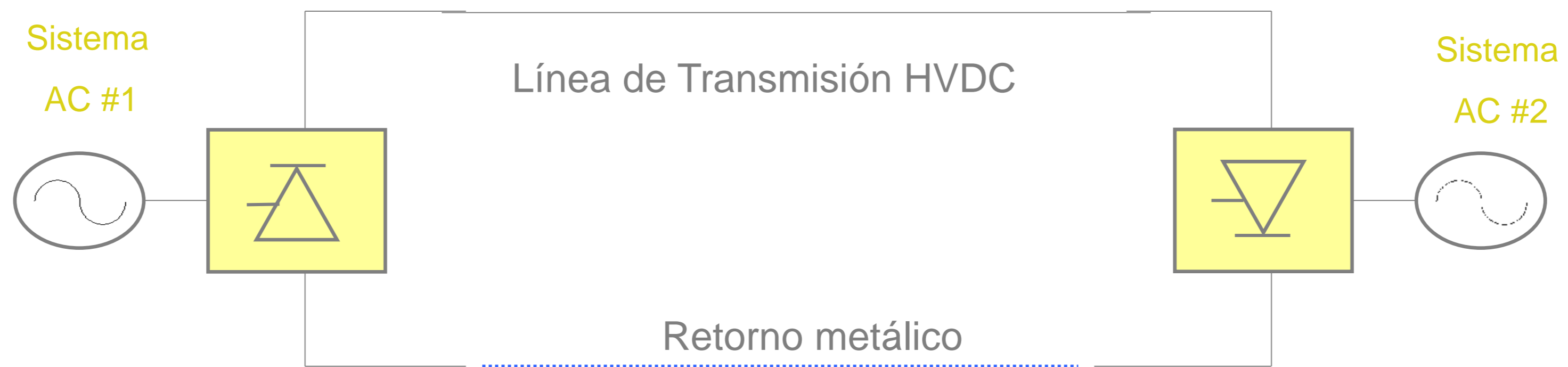


# Configuraciones de transmisión HVDC

- Monopolar



Enlace Monopolar con retorno por tierra



Enlace Monopolar con retorno metálico

# Configuraciones de transmisión HVDC

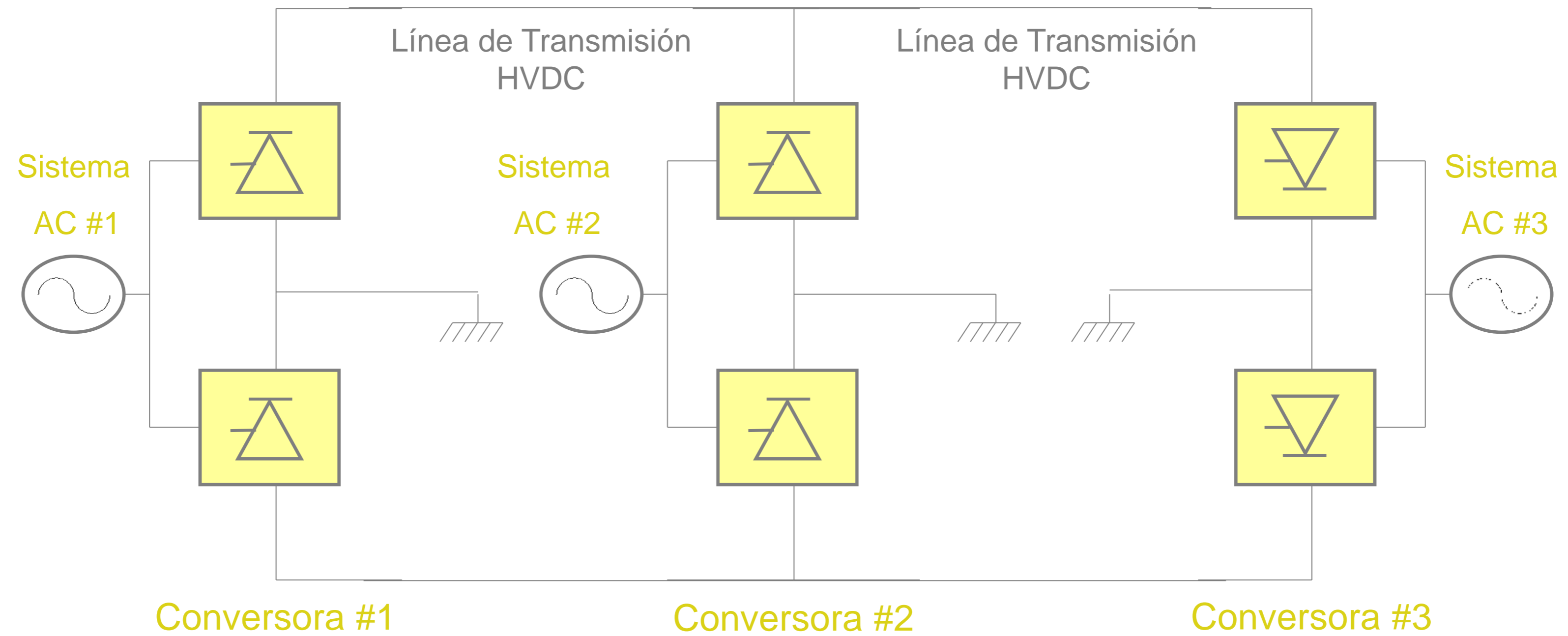
- Bipolar



Enlace Bipolar

# Configuraciones de transmisión HVDC

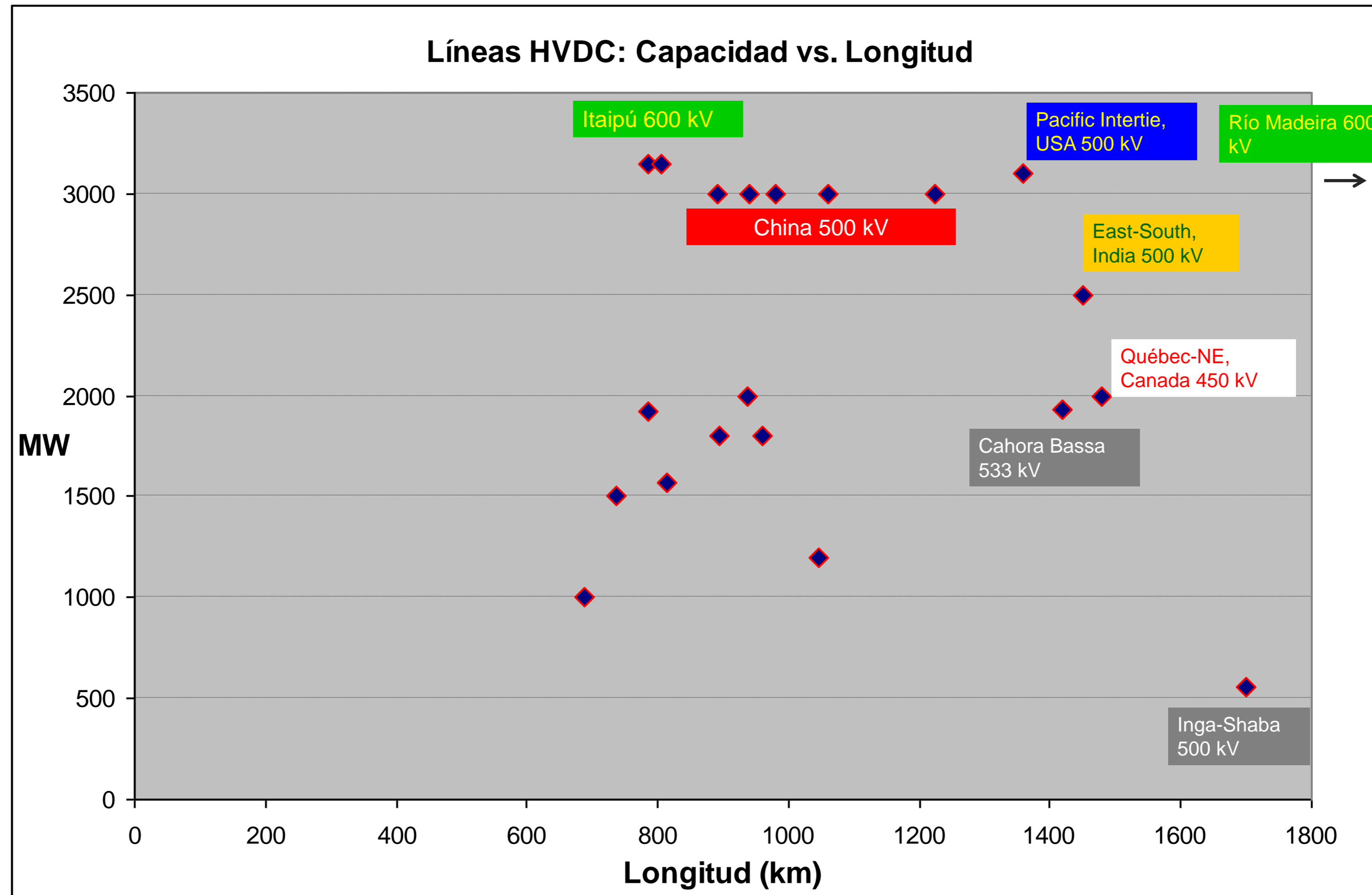
- Multiterminal



Enlace Multiterminal conexión paralela



# Sistemas de Transmisión HVDC en el Mundo

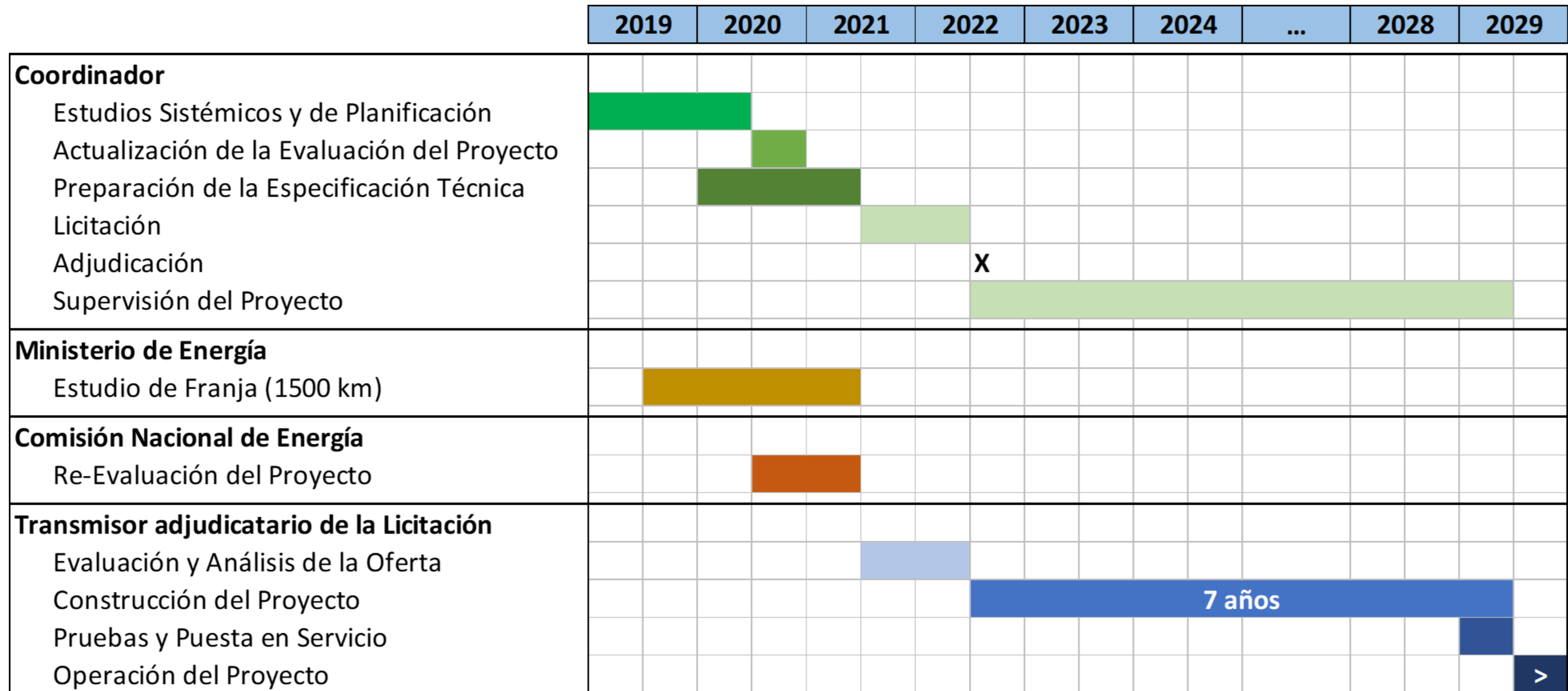


# Sistemas de Transmisión HVDC en el Mundo

- La línea más grande del mundo es Changji – Guquan en China,  $\pm 1100$  kV de 3320 km y 12000 MW
- Las tensiones de  $\pm 500$  kV,  $\pm 600$  kV y  $\pm 800$  kV (5000 a 10000 MW) son las más usadas en China, India y Brasil
- Línea bipolar  $\pm 800$  kV más larga: Belo Monte 2 en Brasil, de 2550 km y 4000 MW (2019)
- Mayor sistema HVDC multiterminal (3 estaciones) es Radisson-Nicolet-Sandy Pond (New England) de HQ, Canadá
- El sistema HVDC VSC más grande del mundo es INELFE (Francia-España),  $\pm 320$  kV y 1400 MW



# Proyecto HVDC KIMAL – LO AGUIRRE (Cronograma General)





# Nueva Línea de Transmisión HVDC Norte - Centro

**Juan Carlos Araneda T.**  
Gerente de Planificación de la Transmisión