Nuevas tecnologías al servicio de la política pública
4e Programa de Energías Renovables y Eficiencia Energética en Chile | GIZ

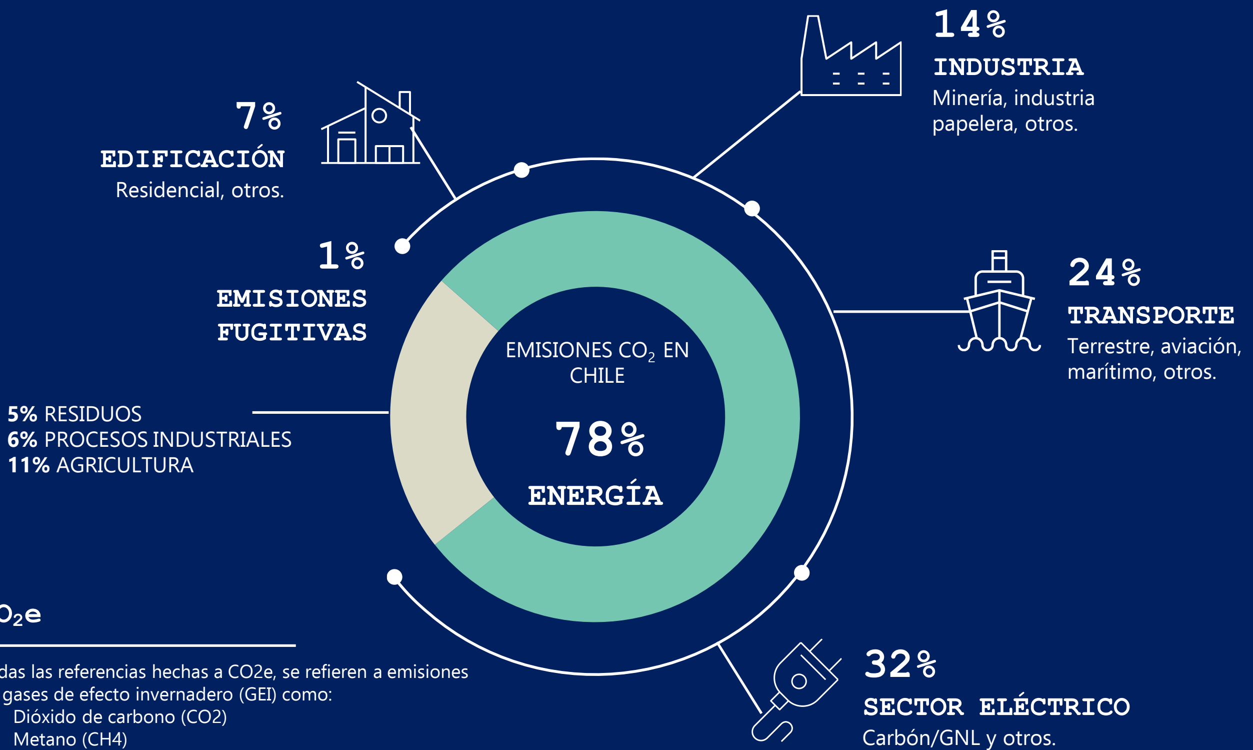
Ministerio de Energía
Gobierno de Chile

La planificación y las nuevas tecnologías al servicio de la transición energética

Carlos Toro
Jefe Unidad de Planificación Energética y Nuevas Tecnologías
Ministerio de Energía

07 de diciembre, 2022

Hacia un desarrollo energético sustentable



Energía: la gran oportunidad de ser una solución ambiental y climática para la sociedad

CO_2e

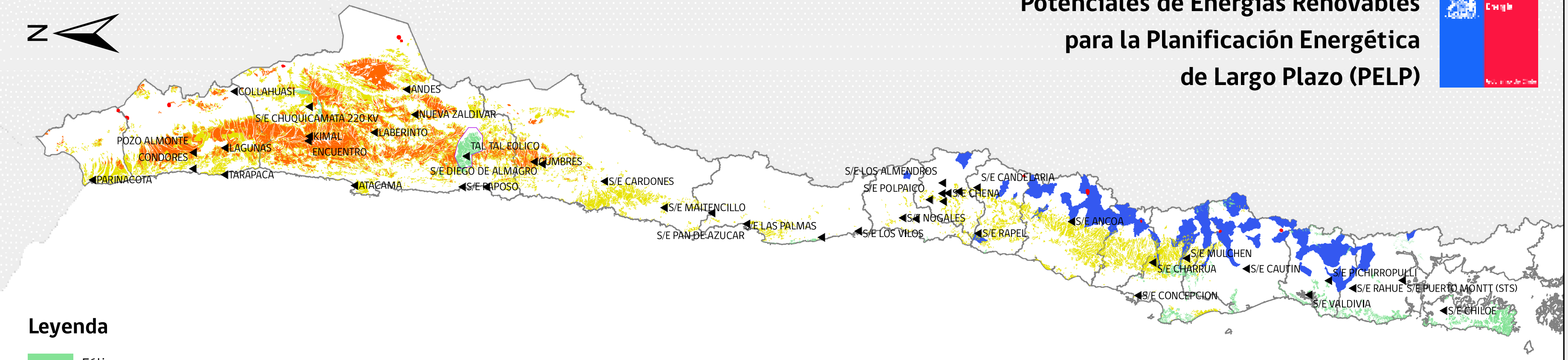
Todas las referencias hechas a CO2e, se refieren a emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) como:

- Dióxido de carbono (CO2)
- Metano (CH4)
- Óxido nitroso (N2O)
- Hidrofluorocarbonos (HFC)
- Perfluorocarbonos (PFC)
- Hexafluoruro de azufre (SF6)
- Medidas en unidades de CO2 equivalente

Inventario Nacional de Chile 2020
Ministerio del Medio Ambiente

Potencial renovable del Sistema Eléctrico Nacional

Potenciales de Energías Renovables para la Planificación Energética de Largo Plazo (PELP)



Leyenda

- Eólico
- Fotovoltaico*
- Concentración Solar de Potencia (CSP)
- Hidroeléctrico
- Geotérmico
- Subestación representativa
- Área de Reserva de Taltal

Fuente: División de Energías Sostenibles (11 de marzo de 2019)

**Datos fotovoltaicos actualizados a marzo de 2019. El resto de potenciales corresponden a los modelados en 2017.*

Exploradores de Energía
Ministerio de Energía

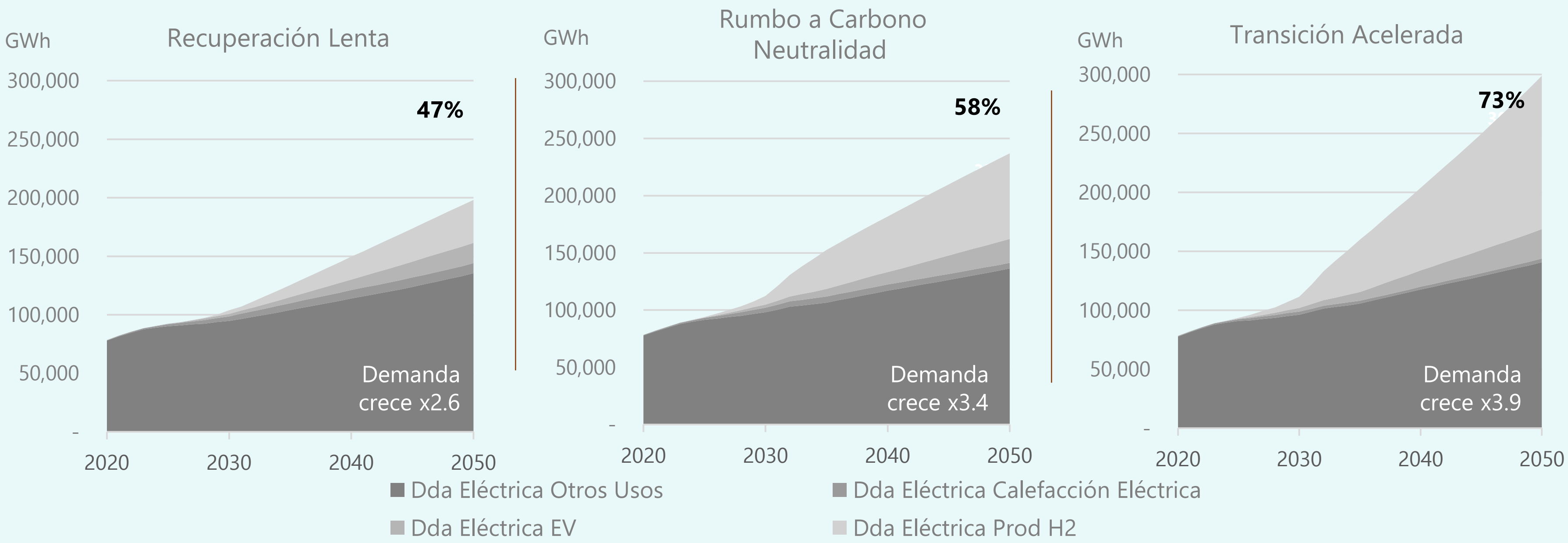
Potencial Eólico Nacional
Ministerio de Energía

Tecnología	Potencial (GW)
Eólica	37
Hidráulica	6
Solar Fotovoltaica (FV)	1.194
Concentración Solar de Potencia (CSP)	510
Geotérmica	2
Total	**1.749**

+70 veces la capacidad instalada actual

Demanda Eléctrica

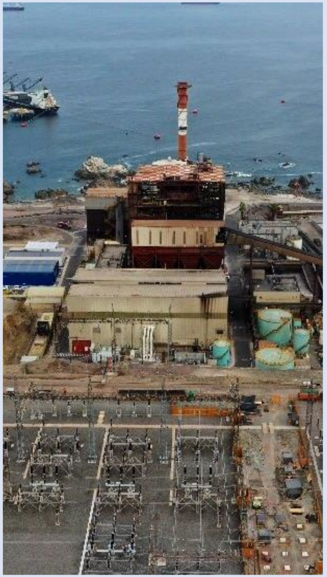
Actualmente el nivel de electrificación es de 24% en la matriz energética final, en el escenario Transición Acelerada se alcanzaría un nivel de electrificación de hasta 73%.



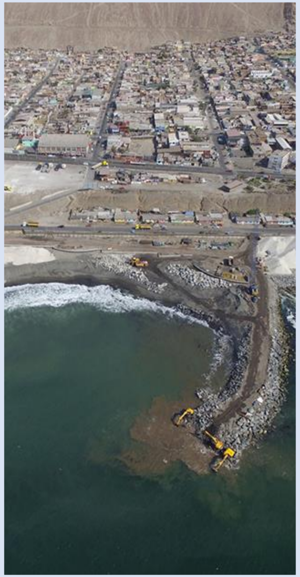
Plan de retiro de centrales a carbón al 2040

Podría ser al **2035** o antes?

TARAPACÁ

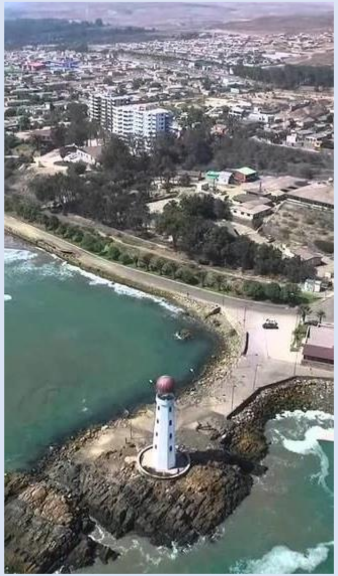


TOCOPILLA

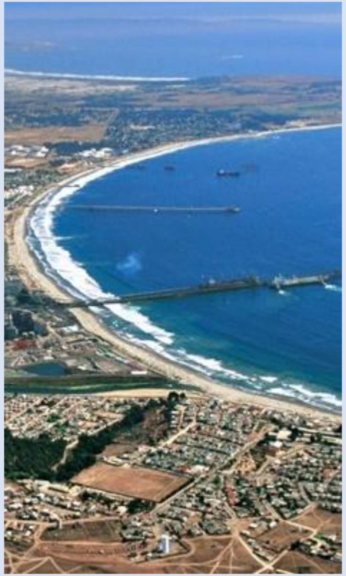


MEJILLONES

HUASCO



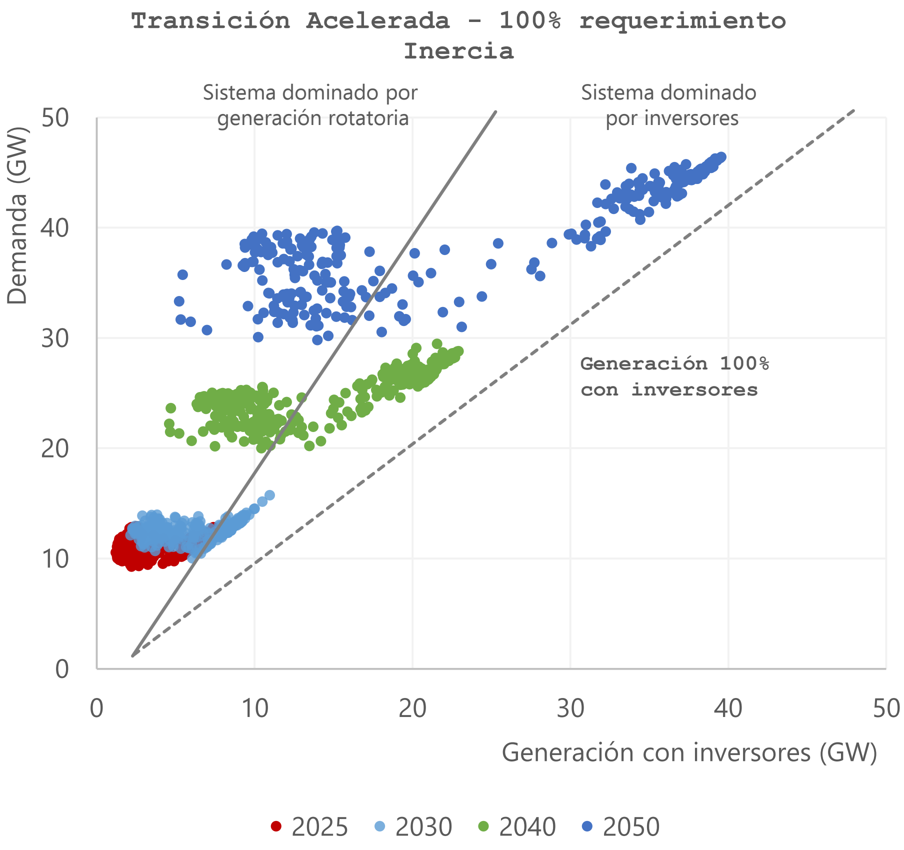
PUCHUNCAVÍ

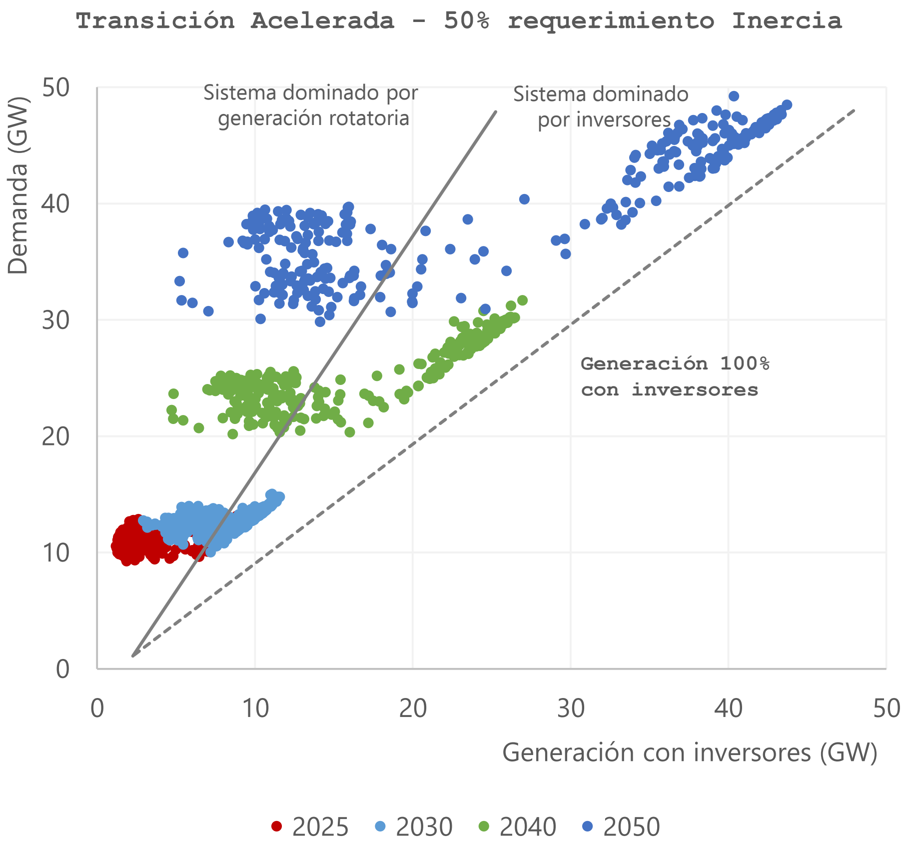


CORONEL

En camino hacia un **futuro renovable** y **desarrollo sustentable**

Generación renovable, no renovable y ERV





El sistema eléctrico actual versus el futuro

Investigación en Chile

- ✓ Ingeniería eléctrica y electrónica área de investigación con mayor fortaleza en Chile (80% superior al promedio mundial).
- ✓ Área de ingeniería eléctrica y electrónica tienen la mayor participación de investigadores en el 2% mundial

Indicadores Ciencia **ANID**

Science Indicators **Journal**

Hoy

Transición Energética
Modernización de la red eléctrica

2050

Hoy

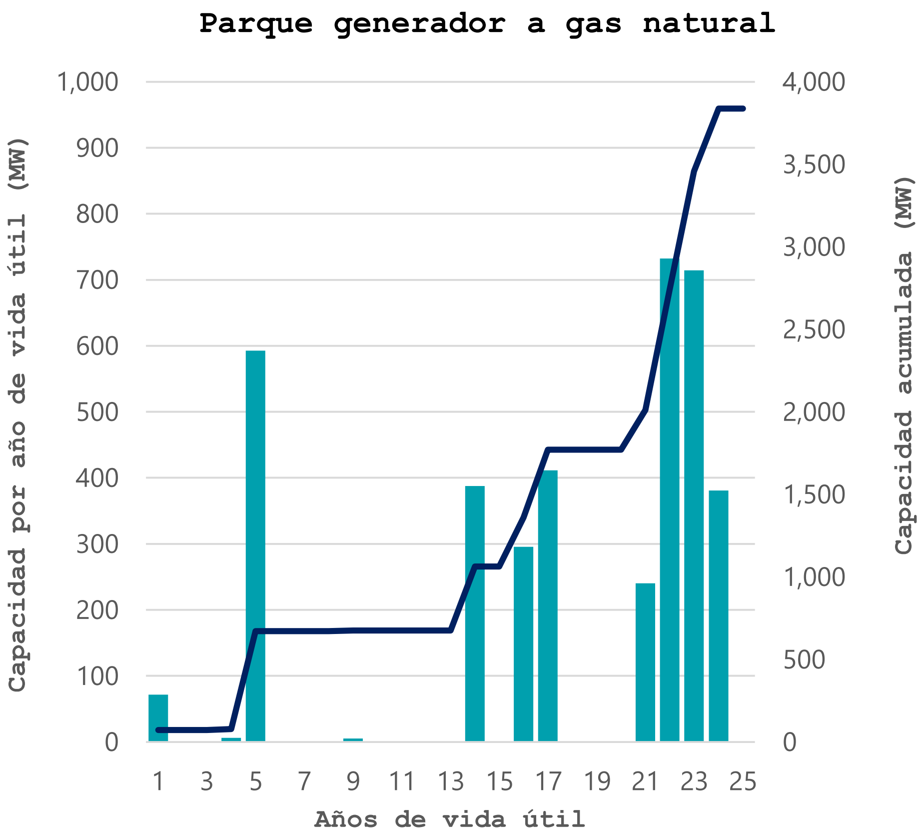
- Control de frecuencia.
  Inercia + CPF + CSF
  Recursos en grandes centrales
- Predominancia de fenómenos electromecánicos asociados a máquinas rotatorias.
- Operación clásica y asignación manual de recursos de seguridad.
- Alto nivel de cortocircuito.

2050

- Control de frecuencia.
  CRF y control centralizado
  Recursos distribuidos
- Predominancia de fenómenos electromagnéticos y conmutación de dispositivos de electrónica de potencia.
- Requerimientos de digitalización (bigdata, operación automatizada).
- Menor nivel de cortocircuito.

El camino a la red eléctrica del futuro - tecnologías

- Baterías con inversores gridforming.
- Centrales renovables variables con inversores gridforming.
- Reconversión termoeléctrica (Carnot, condensadores sincrónicos, blending).
- Concentración solar de potencia.
- Centrales de bombeo y otros tipos de almacenamiento.
- Volantes de inercia, condensadores sincrónicos.
- Baterías de corta duración para apoyar infraestructura de transmisión (GridBooster).
- Centrales a gas como combustible de transición.
- Otras tecnologías.



Electrónica de potencia en sistemas eléctricos

On the Stability of the Power Electronics-Dominated Grid

A New Energy Paradigm

AHMAD KHAN,
MOHSEN HOSSEINZADEHTAHER,
MOHAMMAD B. SHADMAND,
SERTAC BAYHAN, and
HAITHAM ABU-RUB

The energy paradigm is making the modern power grid more difficult to study, design, and control. Precisely speaking, the pace of the new energy paradigm involves the high penetration of power electronics systems in the power grid, which becomes a challenge from stability, vulnerability, and power-quality points of views. Therefore, various literature have focused on defining the modern power grid as the power electronics-dominated grid (PEDG).

The nature of a PEDG is different from that of a traditional power system. This is because PEDGs have much lower inertia and stochastic-generation nature, multitimescale dynamical behavior, generation unit and load proximity, unbalanced phase voltage and loading, a low feeder reactance-to-resistance ratio (X/R), and low short circuit capacity. Given these characteristics, the concepts of stability, categorization,

On the Stability of Power Electronics-Dominated Systems: Challenges and Potential Solutions

Qiao Peng, *Student Member, IEEE*, Qin Jiang, Yongheng Yang, *Senior Member, IEEE*, Tianqi Liu, *Senior Member, IEEE*, Huai Wang, *Senior Member, IEEE*, and Frede Blaabjerg, *Fellow, IEEE*

Abstract—The modern power system is becoming more complicated due to the ever increasing penetration of power electronics, which is referred to as a power-electronics-dominated system (PEDS). In this case, the analysis, control, and operation of the entire power system should tone with the energy-paradigm transition pace, where the challenges should be properly tackled. After the brief introduction of grid-connected converters, this article explores stability challenges of PEDSs, especially on the low inertia issue and multitimescale characteristics, as well as the dynamics when connected to weak grids. The low inertia issue is considered as one of great challenges that power electronics introduce to the conventional power grid. Accordingly, the stability issues of PEDSs are discussed. The exploration reveals that the multitimescale coupling among various control loops and the mutual effects of multiple converters demand much more attention than ever before. The coordinated control of converters for the global stability of PEDSs is also summarized, part of which offers the possibility to solve the inertia problem. This article serves as an inspiration on potential solutions to these issues. In order to provide a more intuitive impression of the inertia problem in PEDSs, a case study is exemplified to highlight the analysis and discussion.

Index Terms—Low-inertia systems, multitimescale analysis, mutual effect, modeling, power-electronics-dominated systems (PEDSs), power electronic converters, stability and control, virtual inertia.

NOMENCLATURE

AGC	Automatic generation control.
AVR	Automatic voltage regulator.
CCM	Component connection method.
DFIG	Doubly fed induction generator.
DPGS	Distributed power generation system.
ESS	Energy storage system.
FSM	Frequency sensitive mode.
IR	Inertia response.
LCC	Line-commutated converter.
LCC-HVDC	LCC-based high voltage direct current.
MIESCR	Multiinfeed interactive effective short-circuit ratio.
MIIF	Multiinfeed interaction factor.
MPC	Model predictive control.
MPP	Maximum power point.
MPPT	Maximum power point tracking.
MTDC	Multiterminal direct current.
OPF	Optimal power flow.
PCC	Point of common coupling.
PEDS	Power electronics-dominated system.
PI	Proportional-integral.
PIV	Power-internal voltage.
PLL	Phase-locked loop.
PMSG	Permanent-magnet synchronous generator.
PSS	Power system stabilizer.
PV	Photovoltaic.
PWM	Pulsewidth modulation.
RSC	Rotor-side converter.
SG	Synchronous generator.
SRF	Synchronous reference frame.
TSO	Transmission system operator.
VSC	Voltage source converter.
VSG	Virtual synchronous generator.

Digital Object Identifier 10.1109/TIA.2019.2936788

I. INTRODUCTION

THE current energy network is being retrofitted with more renewable energy sources like wind and solar energy [1], [2]. By 2018, the global installed capacity of the wind power achieved 592 GW, and over 300 GW of new capacity is expected to be added until 2023 [3]. On the other hand, the solar power, mainly integrated via the PV technology, remains also at a high growth rate. By the end of 2018, the global cumulative installed PV capacity reached 509 GW [4]. In the conventional power grid, the source, network, and load are mainly electromagnetic equipment, e.g., SG, transformers, and induction motors. However, unlike to that, the modern power grid is increasingly integrated with renewable energy, heavily relying on static power electronics converters [5]. This makes the entire power grid more complicated. Moreover, in this case, the boundary between ac and dc grids becomes indistinct in such highly aggregated

By Benjamin Kroposki, Brian Johnson, Yingchen Zhang, Vahan Gevorgian, Paul Denholm, Bri-Mathias Hodge, and Bryan Hannegan

Achieving a 100% Renewable Grid

Operating Electric Power Systems with Extremely High Levels of Variable Renewable Energy

WHAT DOES IT MEAN TO ACHIEVE A 100% renewable grid? Several countries already meet or come close to achieving this goal. Iceland, for example, supplies 100% of its electricity needs with either geothermal or hydropower. Other countries that have electric grids with high fractions of renewables based on hydropower include Norway (97%), Costa Rica (93%), Brazil (76%), and Canada (62%). Hydropower plants have been used for decades to create a relatively inexpensive, renewable form of energy, but these systems are limited by natural rainfall and geographic topology. Around the world, most good sites for large hydropower resources have already been developed. So how do other areas achieve 100% renewable grids? Variable renewable energy (VRE), such as wind and solar photovoltaic (PV) systems, will be a major

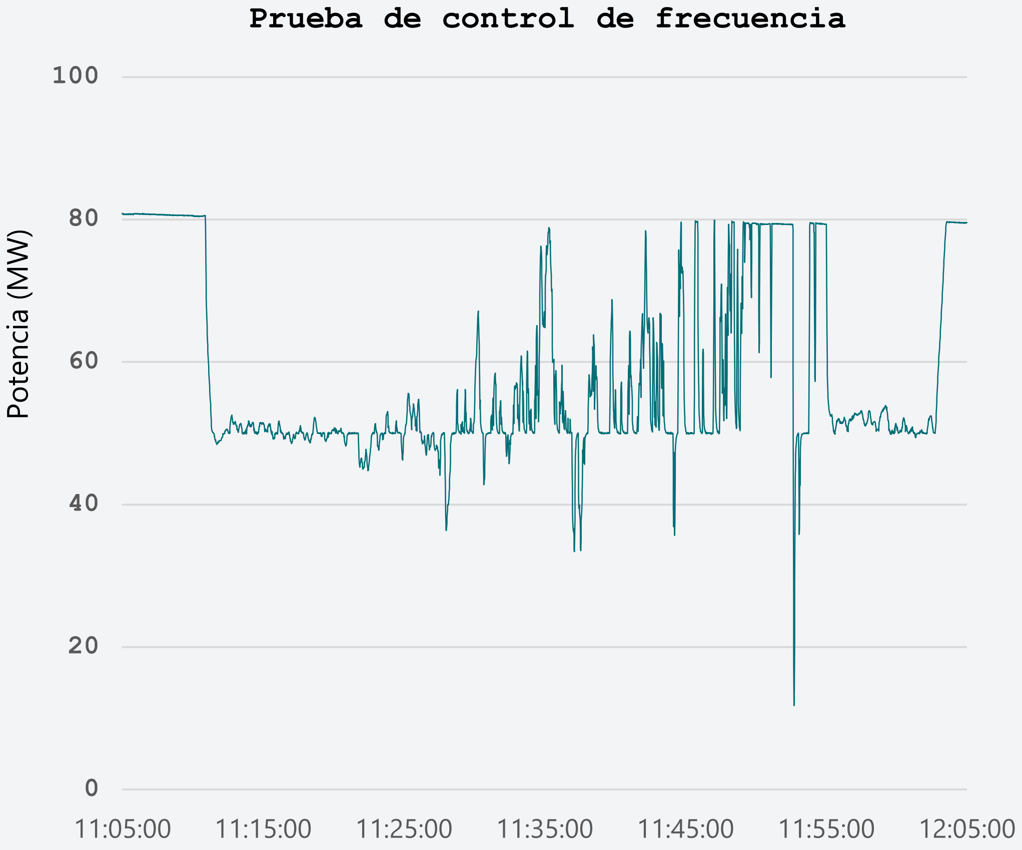
IEEE
Advancing Technology for Humanity

Prueba de control de frecuencia en Chile

CEM12/MI·6
CHILE 2021

Central FV Luz del Norte
First Solar

Renewable Rescue Stability
NREL US



El camino a la red eléctrica del futuro - regulación

Promulgada

Ley de Almacenamiento y Electromovilidad
- *Permite proyectos de almacenamiento puro*
- *Promociona la electromovilidad*

En proceso

Ley de Cuotas Renovables
- *Porcentaje mínimo anual de energía renovable no convencional*
- *Porcentaje mínimo de energía renovable no convencional en distintos bloques horarios*

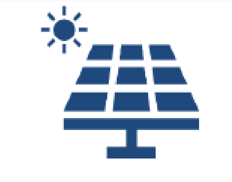
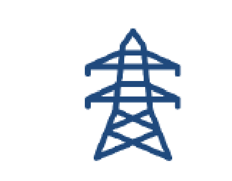
Ley de la Transición Energética
- *Perfeccionamiento de la LGSE*
- *Acceso abierto y los trabajos urgentes*
- *Fortalecer el proceso de expansión de la transmisión*

Acciones prioritarias para la transición energética

1. La nueva electrificación de usos energéticos requiere un **sistema eléctrico** más allá de la confiabilidad, sino que **resiliente**, fortaleciendo además la calidad de servicio.
2. Eficiencia energética y la **gestión inteligente de la demanda**, son fundamentales para el desarrollo energético.
3. Nuevas obras de optimización y refuerzo para la **transmisión eléctrica**.
4. Portafolio de obras estructurales de transmisión para alcanzar la carbono neutralidad y **polos de desarrollo** en provincias de Tocopilla y Antofagasta.
5. Incorporación de fuentes renovables a **gran escala y a nivel distribuido**.
6. Habilitación y señales de inversión para la incorporación de **almacenamiento**.
7. Implementación **tecnológica de vanguardia** para la operación de la red eléctrica del futuro dominada por electrónica de potencia.
8. Condiciones para la **gestión de la demanda** eléctrica, especialmente climatización y electromovilidad
9. **Adaptación y resiliencia climática** implica que hidrológica seca debe ser considerada a todo efecto.
10. Electrificación de **calefacción en viviendas** requiere planes intensivos de aislamiento térmico

El sistema eléctrico avanza más rápido que la regulación

A octubre de 2022

	Admitidos	En evaluación	Aprobados
	9 proyectos USD 999 millones 925 MW	95 proyectos USD 12,228 millones 11,759 MW	4 proyectos USD 242 millones 326 MW
	1 proyecto USD 13 millones	17 proyectos USD 991 millones 731 km	4 proyectos USD 34 millones 12 km

Ministerio de Energía

Gobierno de Chile

PELP

PLANIFICACIÓN ENERGÉTICA DE LARGO PLAZO

pelp@minenergia.cl
pelp.minenergia.cl

07 de diciembre, 2022