



# Integración óptima de generación distribuida en la red-Caso Peruano

**Leonidas Sayas Poma, Msc, MBA, Ing.**

Gerente de Supervisión de Electricidad Osinermin

Profesor Smart Grid Applications ESAN Graduate School of Business

[lsayas@osinermin.gob.pe](mailto:lsayas@osinermin.gob.pe)

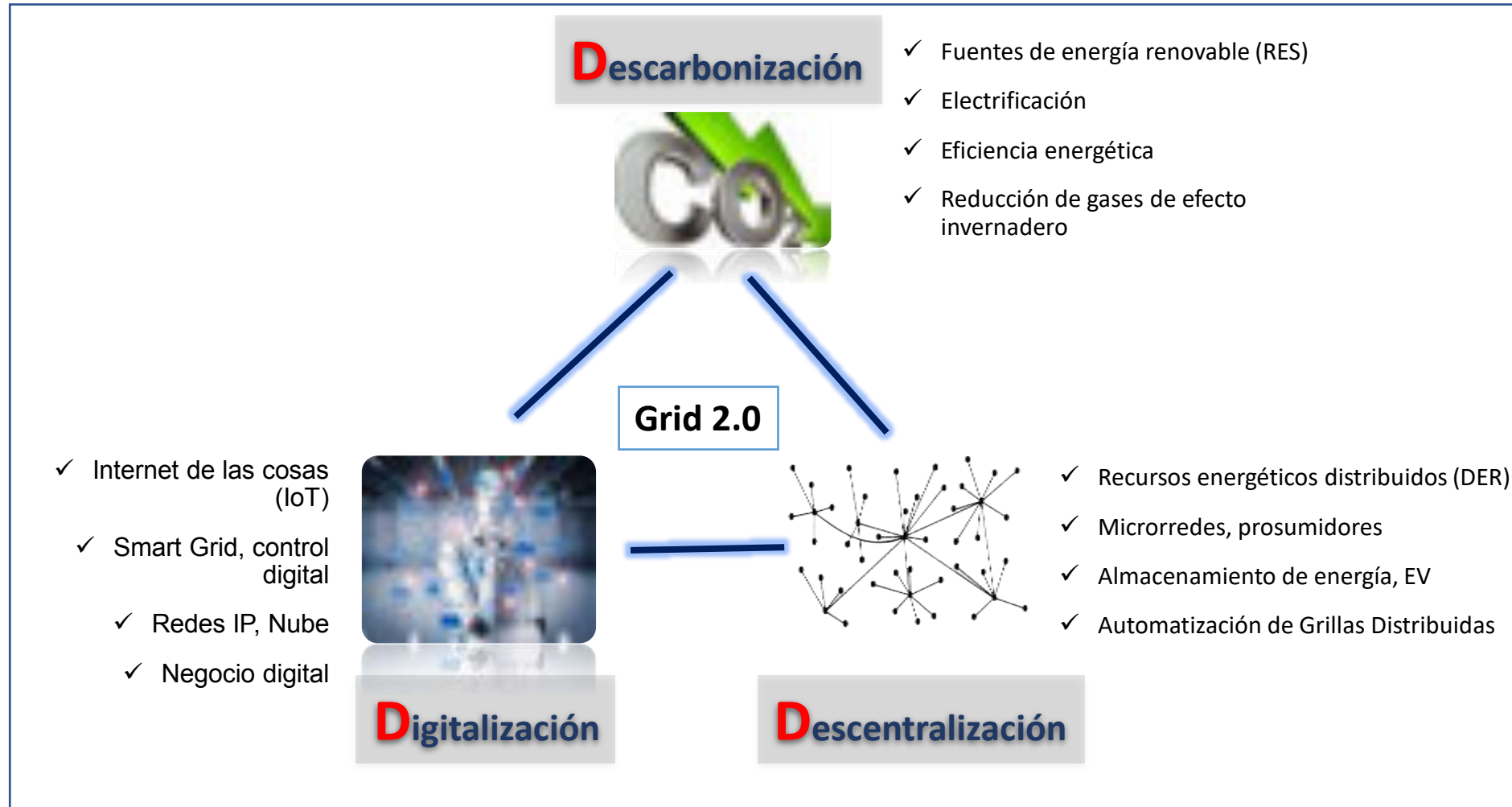


# Contenido

1. Cambio climático e implicancias
2. Aspectos de la calidad del servicio
3. Conceptos de GD
4. Modelo de Integración óptima de GD en la red eléctrica y análisis dinámico de pérdidas
5. Conclusiones y reflexiones

# 3 MEGA TENDENCIAS QUE REMODELAN EL PANORAMA ENERGÉTICO

## Las "tres D's "



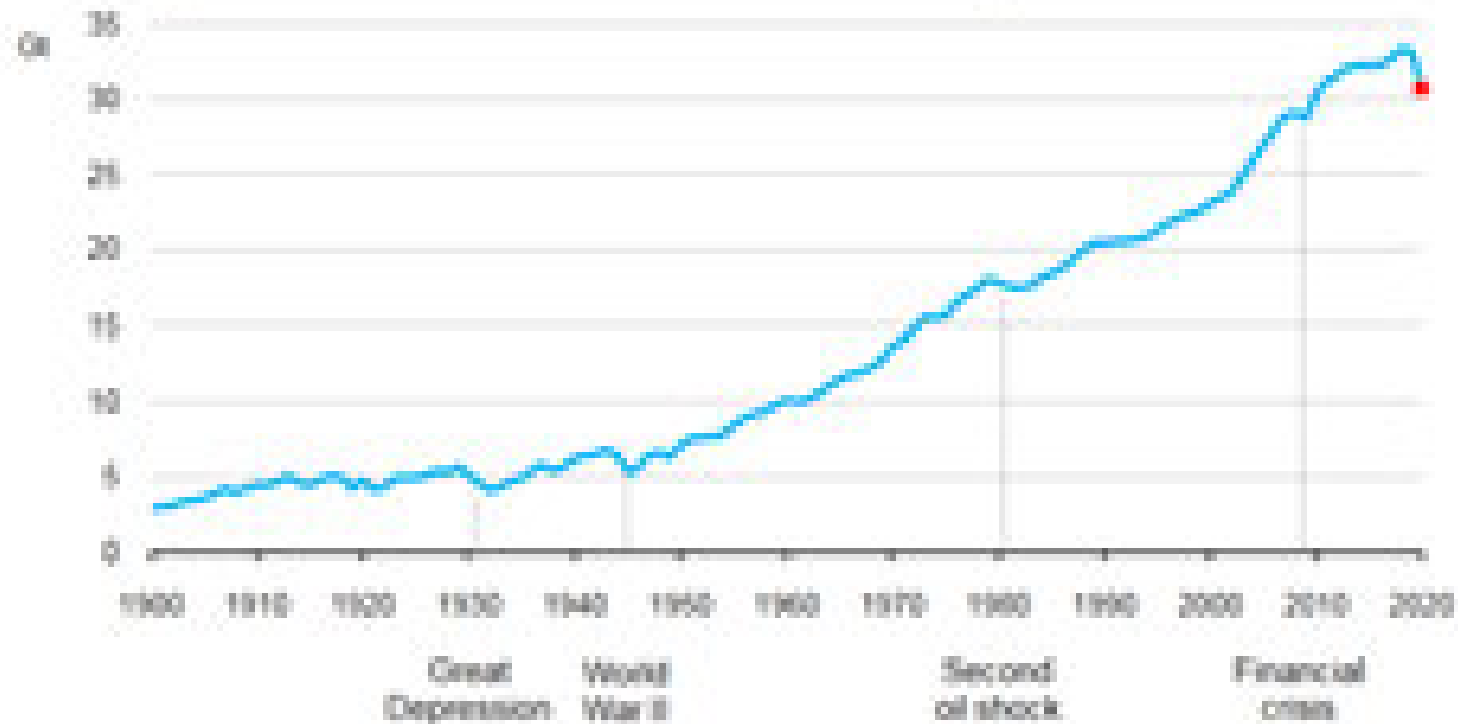


## Parte 1: Cambio climático e implicancias



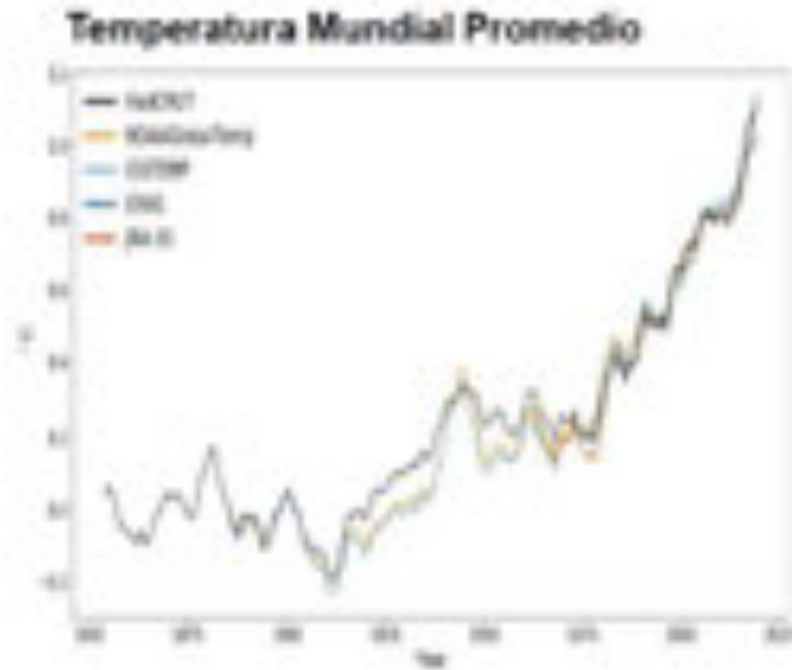
# EMISIÓN GLOBAL DE CO2 PROYECCIÓN 2020

Global energy-related CO2 emissions and annual change, 1900-2020



Debido a la crisis por la pandemia de Covid19 se ha disminuido las emisiones de CO2 en el primer trimestre de 2020 y se proyecta que al finalizar el año las emisiones alcancen las 30.6 gigatoneladas, un 8% menos que en 2019.

# CONSECUENCIAS DEL CAMBIO CLIMÁTICO



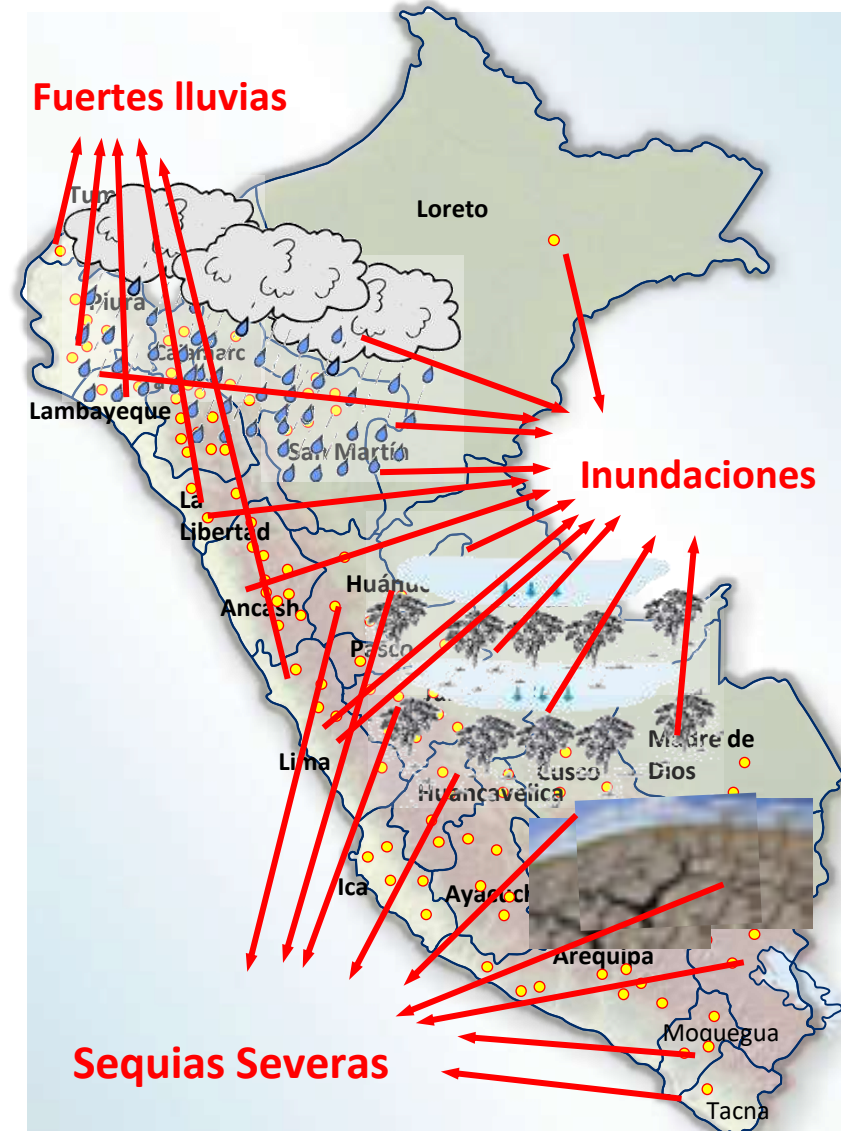
- Necesidad de:
- Adaptación al cambio climático
  - Reducción de vulnerabilidades

# FENÓMENO DEL “EL NIÑO” Y EL CAMBIO CLIMÁTICO

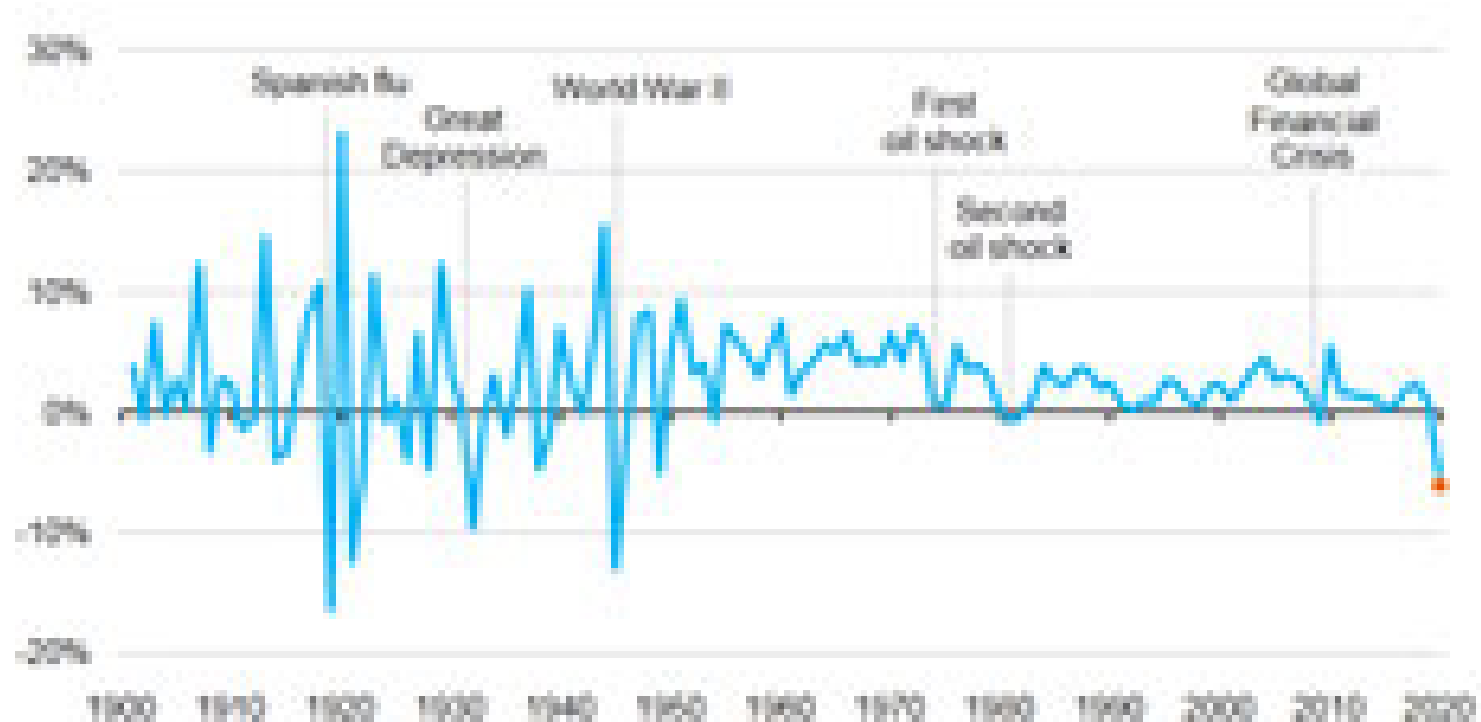
El fenómeno de El Niño (FEN) es el calentamiento anormal del sistema atmósfera/mar en el Pacífico tropical, que ocasiona severas consecuencias en el clima alrededor del mundo.

**En 2017 causó que se declarara en emergencia 13 de los 24 departamentos del Perú.** Dejó un saldo de: 782 mil personas afectadas, 414 mil viviendas destruidas, 218 mil km de carreteras afectadas y 131 mil hectáreas de cultivo .

En los años 2018 y 2019 también se presentó pero con menor incidencia



# CAMBIO EN LA DEMANDA GLOBAL DE ENERGÍA PRIMARIA 2020



IEA 2020. All rights reserved.

La demanda global de energía se redujo en 3.8% el primer trimestre de 2020 respecto al primer trimestre de 2019, lo que equivale a 150 millones de toneladas de petróleo equivalente (Mtoe)



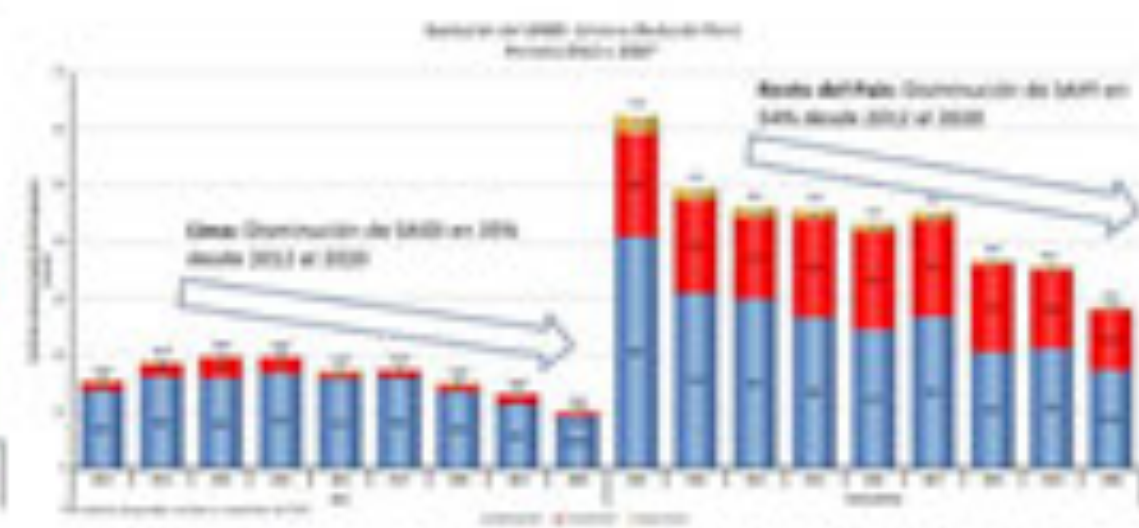
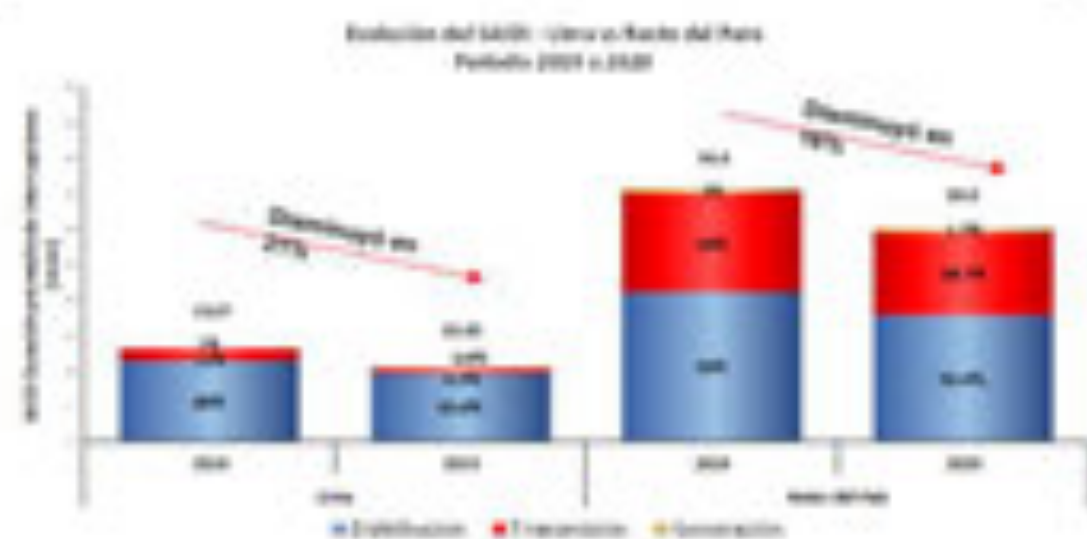
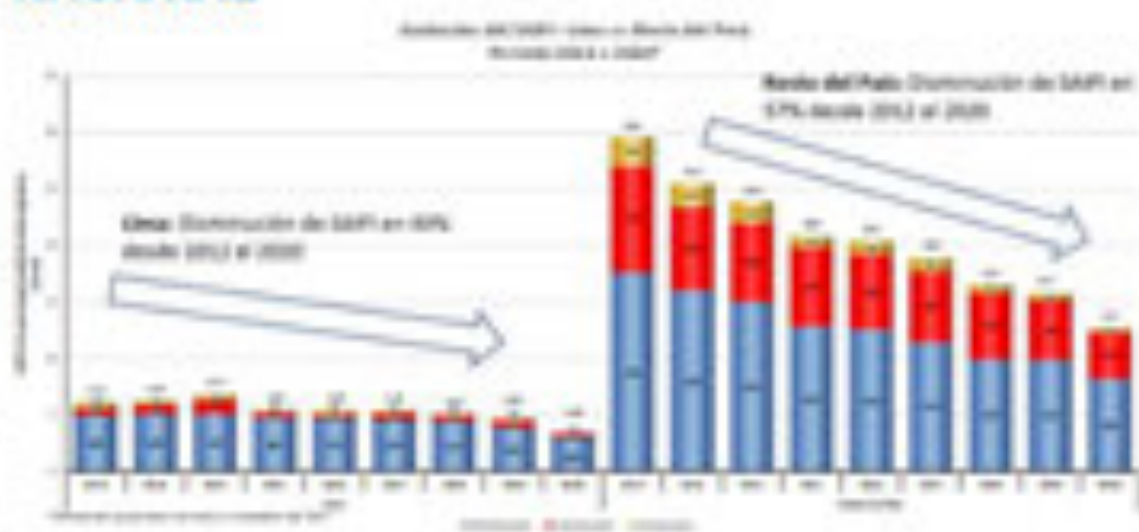


## Parte 2:

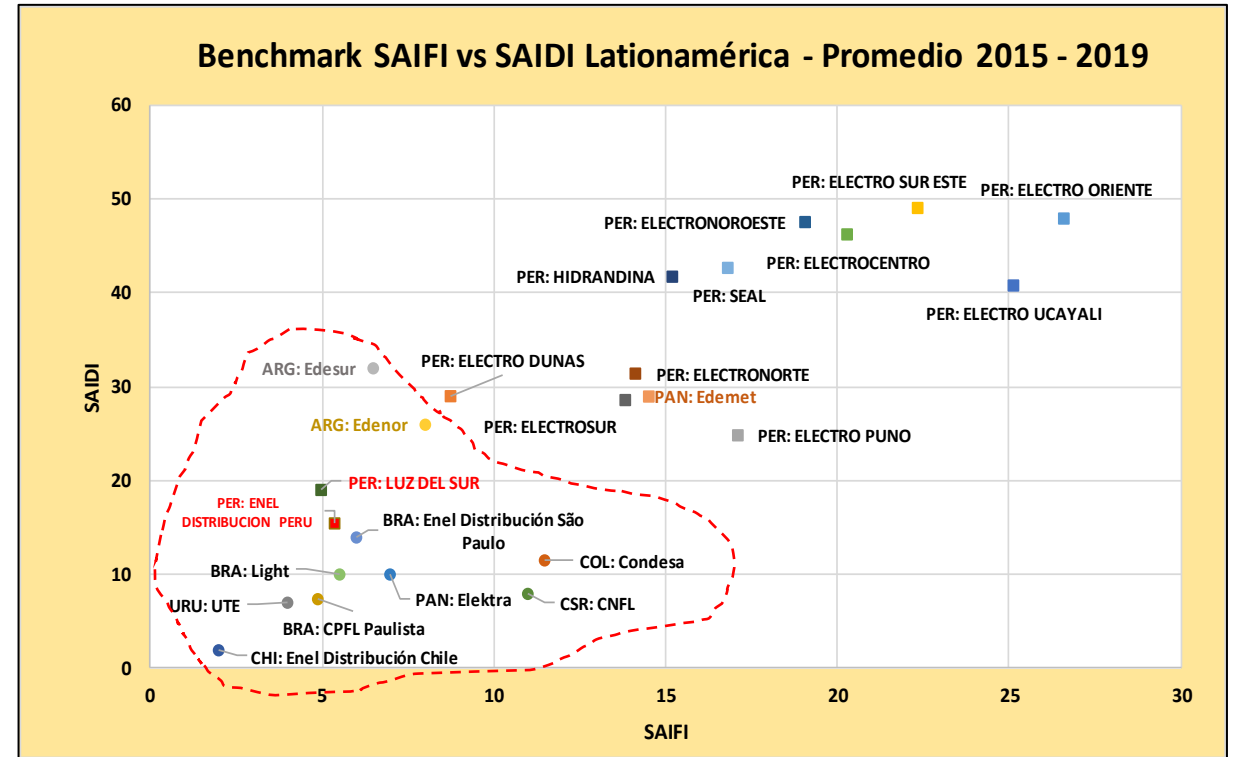
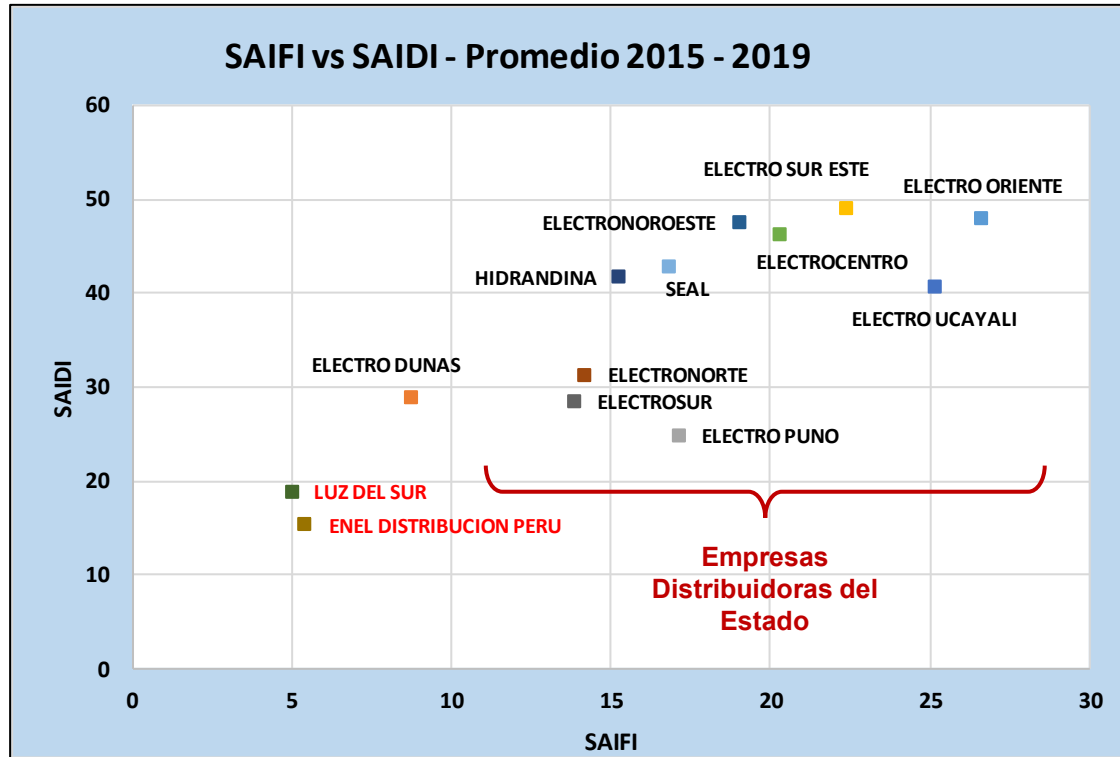
Aspectos de la calidad del servicio en el Perú



## PROBLEMÁTICA: RESULTADOS DE INTERRUPCIONES A NIVEL NACIONAL

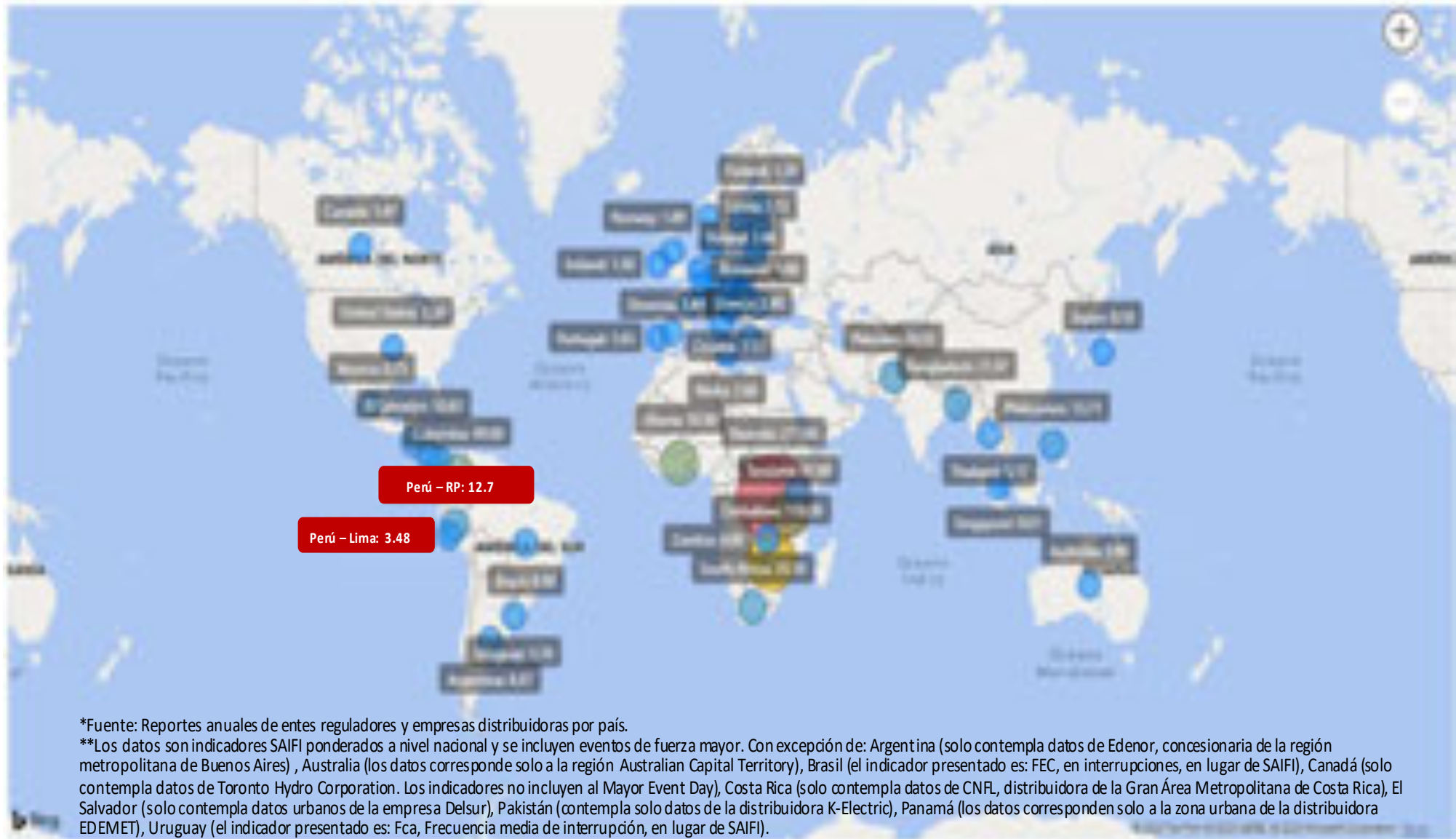


# INDICADORES DE CALIDAD DE SERVICIO ELÉCTRICO



En general la calidad de suministro de las **empresas privadas** es considerablemente mejor que la proporcionada por las **empresas de FONAFE**. Al comparar estos resultados con los obtenidos por empresas distribuidoras de **otros países de Latinoamérica**, se observa que solo las empresas privadas como Luz del Sur y Enel Distribución mantienen una calidad de suministro similar.

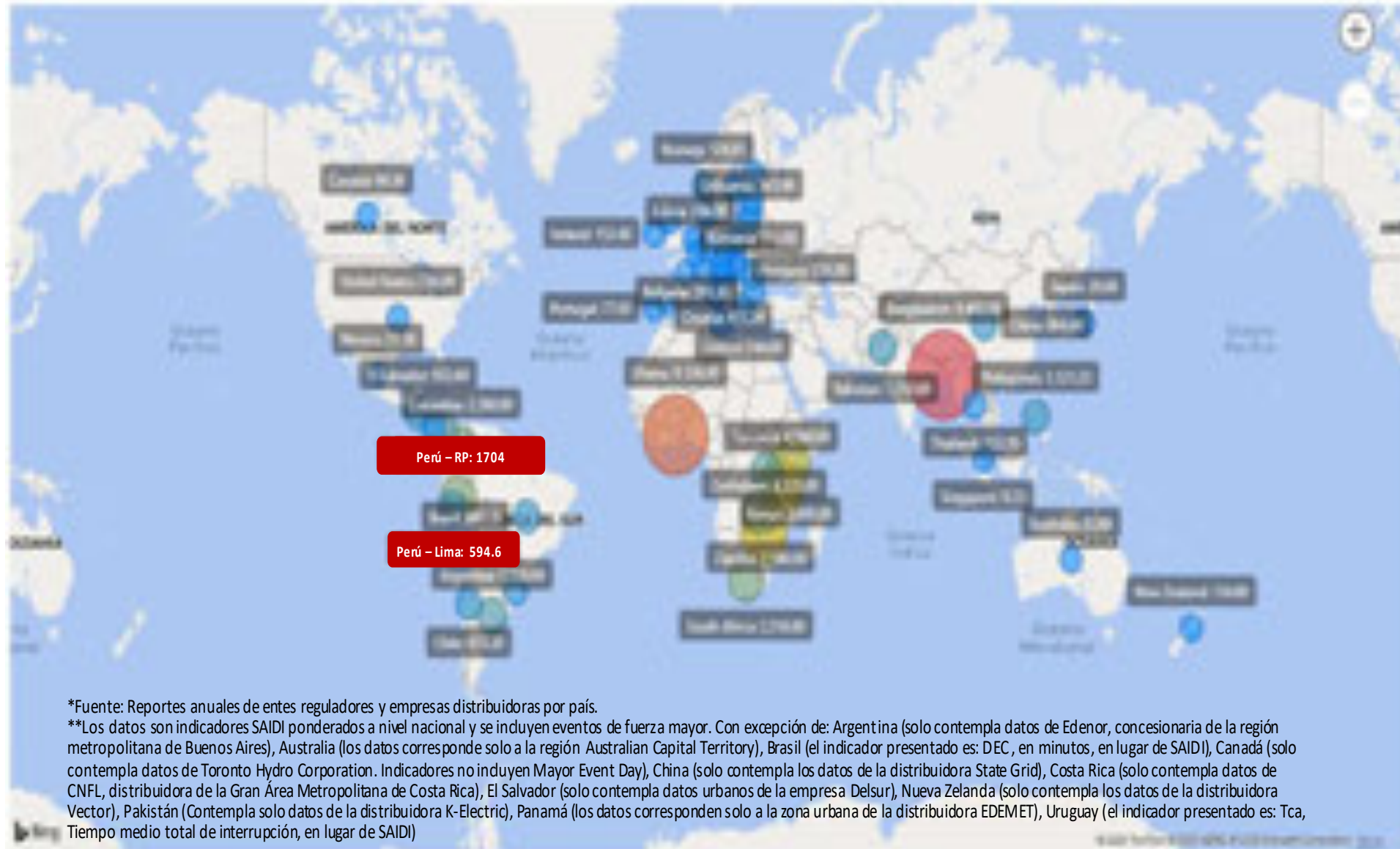
## MAPUMUNDI DEL SAIFI



\*Fuente: Reportes anuales de entes reguladores y empresas distribuidoras por país.

\*\*Los datos son indicadores SAIFI ponderados a nivel nacional y se incluyen eventos de fuerza mayor. Con excepción de: Argentina (solo contempla datos de Edenor, concesionaria de la región metropolitana de Buenos Aires), Australia (los datos corresponde solo a la región Australian Capital Territory), Brasil (el indicador presentado es: FEC, en interrupciones, en lugar de SAIFI), Canadá (solo contempla datos de Toronto Hydro Corporation. Los indicadores no incluyen al Mayor Event Day), Costa Rica (solo contempla datos de CNFL, distribuidora de la Gran Área Metropolitana de Costa Rica), El Salvador (solo contempla datos urbanos de la empresa Delsur), Pakistán (contempla solo datos de la distribuidora K-Electric), Panamá (los datos corresponden solo a la zona urbana de la distribuidora EDEMET), Uruguay (el indicador presentado es: Fca, Frecuencia media de interrupción, en lugar de SAIFI).

## MAPUMUNDI DEL SAIDI (MINUTOS)



\*Fuente: Reportes anuales de entes reguladores y empresas distribuidoras por país.

\*\*Los datos son indicadores SAIDI ponderados a nivel nacional y se incluyen eventos de fuerza mayor. Con excepción de: Argentina (solo contempla datos de Edenor, concesionaria de la región metropolitana de Buenos Aires), Australia (los datos corresponde solo a la región Australian Capital Territory), Brasil (el indicador presentado es: DEC, en minutos, en lugar de SAIDI), Canadá (solo contempla datos de Toronto Hydro Corporation. Indicadores no incluyen Mayor Event Day), China (solo contempla los datos de la distribuidora State Grid), Costa Rica (solo contempla datos de CNFL, distribuidora de la Gran Área Metropolitana de Costa Rica), El Salvador (solo contempla datos urbanos de la empresa Delsur), Nueva Zelanda (solo contempla los datos de la distribuidora Vector), Pakistán (Contempla solo datos de la distribuidora K-Electric), Panamá (los datos corresponden solo a la zona urbana de la distribuidora EDEMET), Uruguay (el indicador presentado es: Tca, Tiempo medio total de interrupción, en lugar de SAIDI)

# Principales problemáticas por actividad en el Sector Eléctrico:

## Generación

- Concentración de grandes bloques de generación en Lima.
- Centrales de RF Costosas, se incrementarán si gaseoducto al sur no se efectúa.
- Incremento de Generación RER No Convencional al SEIN, intermitencia y falta de potencia FIRME (solar, eólica).
- Centrales térmicas convencionales INFLEXIBLES.
- Falta de planificación de generación y política de estado del uso eficiente de los recursos
- Lento desarrollo normativo que regule y propicie el desarrollo de proyectos de Generación Distribuida
- Definir SSCC, V/VAR, RPF, RSF, Flexibilidad (Pmin, TMO, TMEA, TA)



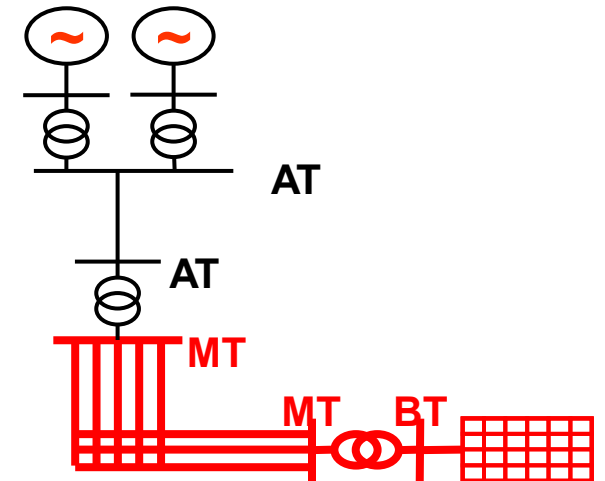
## Transmisión

- Sistemas eléctricos Radiales.
- Bajo porcentaje de ejecución del PIT.
- Alta Tasa de falla debido a descargas atmosféricas.
- Continuas salidas por mantenimiento y/o regulación de tensión en instalaciones de alta tensión.
- Problemática de operación en instalaciones frontera Transmisión – Distribución.
- Alta tasa de fallas en sistemas de Sub Transmisión, SETA (Bagua Jaen, Mollepata Friaspata, Puno-Pomata –llave, entre otros). 40 SETAS.



## Distribución

- Redes extensas y radiales
- Altos indicadores de SAIFI y SAIDI en sistemas eléctricos de Provincias.
- Fallas transitorias en Redes de MT
- Protección inadecuada de sistemas con neutro aislado ante fallas monofásicas a tierra.
- Redas antiguas mas de 30 años.
- Escasa o nula automatización





## Parte 3: Conceptos de Generación Distribuida

# Conceptos y características de GD

## Conceptos:

*“La Generación Distribuida es la generación o el almacenamiento de energía eléctrica a pequeña escala, lo mas cercana al centro de carga, con la opción de interactuar (comprar o vender) con la red eléctrica y, en algunos casos, considerando la máxima eficiencia energética.”*

**Fuente:** Organización latinoamericana de energía - OLADE

*“Es cualquier tecnología de generación a pequeña escala que proporciona electricidad en puntos más cercanos al consumidor que la generación centralizada y que se puede conectar directamente al consumidor o a la red de transporte o distribución.”*

**Fuente:** Distribution Power Coalition of América - DPCA



# POR GENERACIÓN DISTRIBUIDA SE ENTIENDE EL CONJUNTO DE FUENTES QUE ESTÁN ASOCIADAS A LA DEMANDA

*Fuentes con potencias instaladas del orden de decenas de kW*

**Generación Distribuida**



**Integración de renovables**

*Fuentes con potencias instaladas del orden de decenas de MW*

# Algunas ventajas de la GD

1. Reducción de pérdidas, depende de la ubicación.
2. Mayor confiabilidad del sistema de servicios públicos.
3. Soporte de voltaje y calidad de energía mejorada
4. Liberación de capacidad de transmisión y distribución
5. Aplazamientos de infraestructura de transmisión y distribución nueva o mejorada

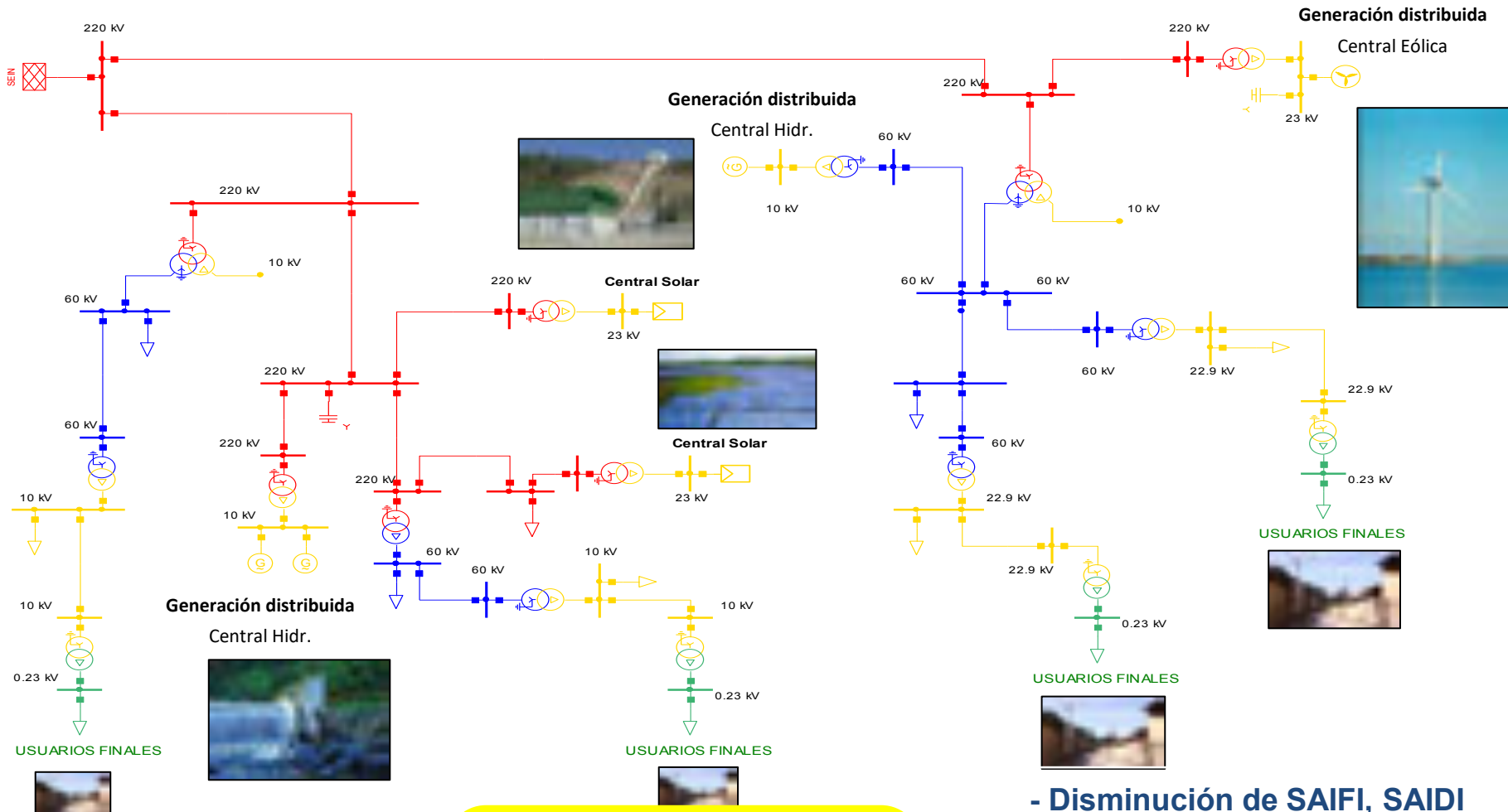
# Algunas preocupaciones de la GD

1. Capacidad térmica de redes y los equipos.
2. Niveles de falla del sistema.
3. Estabilidad del SEP
4. Capacidades de flujo de potencia inverso de los cambiadores de tomas.
5. Compensación de caída de línea.
6. Aumento de voltaje,.
7. Pérdidas de potencia
8. Calidad de la energía ( como parpadeos y armónicos)
9. Ajustes de la protección, protección adaptiva.

# ¿ QUÉ ES LA GENERACIÓN DISTRIBUIDA?

Generación con capacidad no mayor a la señalada en el Reglamento (10MW), conectada directamente a las redes de un concesionario de distribución eléctrica

Ley N° 28832, Ley para asegurar el desarrollo eficiente de la Generación Eléctrica, Año 2006



**GD RER: UNA PUERTA HACIA LA AUTOGENERACIÓN**

Por lo tanto; se diseñan sistemas eléctricos resilientes para una ciudad sostenible eléctricamente.

- Disminución de SAIFI, SAIDI
- Mejora el perfil de tensiones y
- Reduce Perdidas
- Posterga inversiones

# Proyecto Reglamento de la Generación Distribuida

## RESOLUCIÓN MINISTERIAL N° 292-2018-MEM/DM

El 02 de agosto de 2018, se publicó la Resolución Ministerial N° 292 -2018-MEM/DM a través de la cual se pre publicó el Proyecto de Decreto Supremo que aprobará el Reglamento de Generación Distribuida en el Perú. Este proyecto de Reglamento consta de 22 artículos, y define básicamente dos tipos de generación distribuida, las cuales son:

1. **Mediana Generación Distribuida (MGD)**, definida como la «Instalación cuya base normativa corresponde a la ley, con capacidad mayor a 200 kW y menor o igual a 10 MW, que se conecta a la Red de Distribución en Media Tensión», y

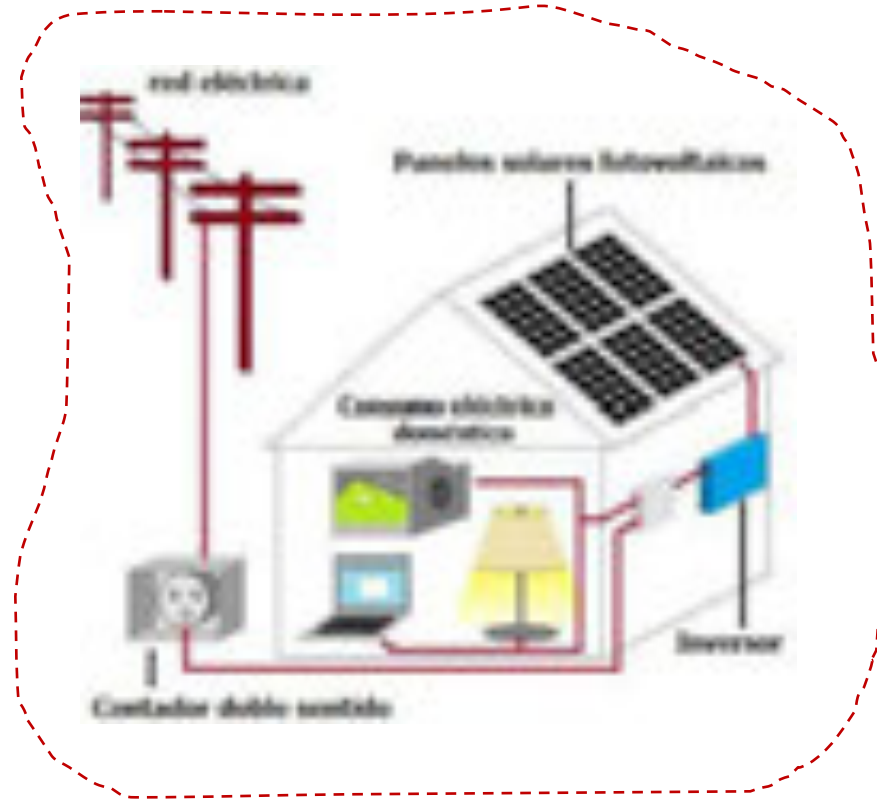
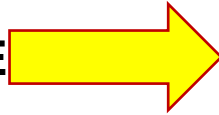


**Potencia**  
**200 kW >GD ≤ 10 MW**

# Autorizan publicación de proyecto de Decreto Supremo que aprueba el Reglamento de la Generación Distribuida RESOLUCIÓN MINISTERIAL N° 292-2018-MEM/DM

2. **Microgeneración Distribuida (MCD)**, definida como la « Instalación de titularidad de un usuario del servicio público de electricidad, cuya base normativa corresponde al DL 1221 y que se conecta a la Red de Distribución en Baja Tensión o Media Tensión. La potencia máxima de generación instalada corresponderá a la potencia del suministro contratada con la EDE y en ningún caso dicha potencia máxima superará los 200 kW».

Concesión EDE



Potencia  
máx. < 200  
kW

## RECOMENDACIONES PARA AFIANZAR EL PROCESO DE IMPLEMENTACIÓN DE LA GD

Considerando los estudios efectuados en el SEIN (a cargo del Minem), y la evolución de la GD en el mundo, los enterados refieren las siguientes recomendaciones importantes:

1. Se debe implementar un reglamento (al respecto, en el Perú, ya se pre publicó el Proyecto en revisión y está en proceso de integración).
2. Se deben establecer procedimientos técnicos para separar con claridad los conceptos de Microgeneración Distribuida (MGD) y Mediana Generación Distribuida (MCD).
3. Los estudios técnicos deben establecer los límites de penetración de ERNC para cada caso según la experiencia adquirida.
4. Se deben establecer todas las reglas técnicas necesarias para no perjudicar la red.
5. Se debe evaluar y proponer los cambios técnicos y normativos relacionados para la MGD, relativos al nuevo rol del distribuidor, en el ámbito de la coordinación. Así como, definir la posibilidad de entrar en el mercado de corto plazo, en los pagos o traslados de los peajes, así como respecto a la Potencia firme.

## **Localización del desarrollo energético GD y $\mu$ GD.**

*Integrar los recursos energéticos (gas natural, eólica, solar, geotérmica, biomasa, energía oceánica y calor residual industrial) para satisfacer y mejorar el suministro eléctrico.*

*Mejorar la seguridad energética al diseñar una GD capaz de operar de forma independiente.*

*Promover cambios al modelo comercial tradicional (prosumidores).*



## **Reducción en el costo de la energía.**

*Reducir las pérdidas en el transporte de la energía, minimizando el uso de las redes de Transmisión y Distribución.*

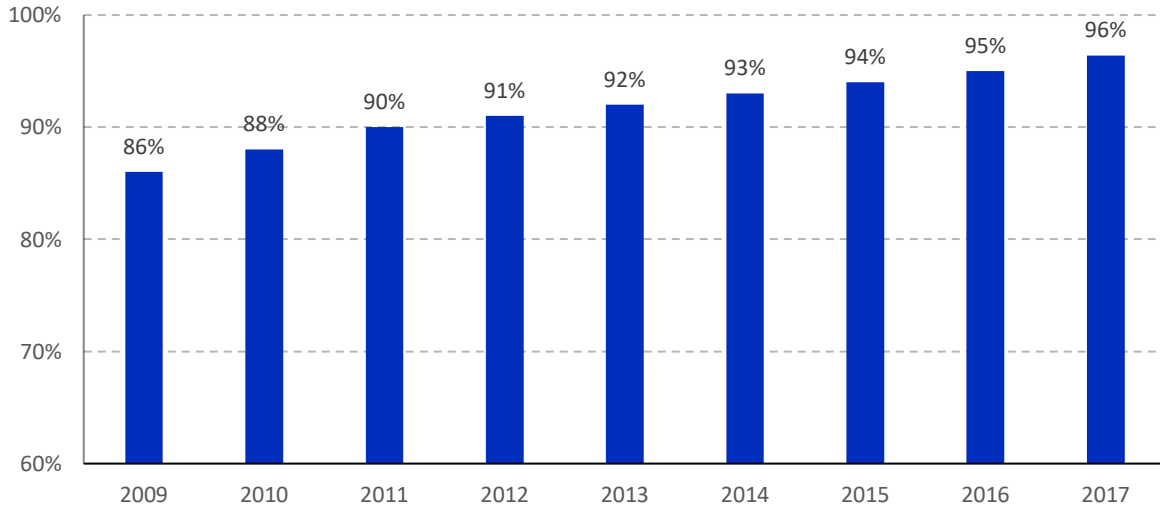




## Acceso a la energía para todos.

La GD ofrece la oportunidad de proporcionar energía limpia y confiable a usuarios dentro y fuera de la red, mejorando su calidad de vida y desarrollo económico.

PERÚ- Acceso a la electricidad (% de la población)



Fuente: Base de datos del Banco Mundial – octubre 2019

*Distributed Energy Systems: Flexible and Efficient Power for the New Energy Era - Executive Summary - Arup & Siemens*

## Mejora de la seguridad del suministro.

La GD y su almacenamiento proporcionan flexibilidad a la red local mejorando la seguridad del suministro e independencia de la red.



*Distributed Energy Systems: Flexible and Efficient Power for the New Energy Era - Executive Summary - Arup & Siemens*

## ***Energía baja en carbono y eficiencia energética.***

*La GD permite una mayor integración de la generación renovable, lo que da como resultado la reducción en el uso de combustibles fósiles, la emisión de carbono y el impacto ambiental en la producción de energía.*



*De forma general la implementación de la GD implica grandes cambios y diferentes impactos para cada agente que forma parte del sistema.*

INTERESADO	IMPACTO	TIPO	CLASIFICACIÓN
<b>Empresas Distribuidoras</b>	Impacto en el flujo monetario (inversión, adaptación de sus redes)	Económico	Costo
<b>Usuarios</b>	Reducción de la factura eléctrica	Económico	Beneficio
<b>Empresas de servicios energéticos (Nuevos actores en el sistema)</b>	Aumento de ingresos	Económico	Beneficio
<b>Fabricantes e Importadores</b>	Aumento de ingresos	Económico	Beneficio
<b>Estado</b>	Impacto en el flujo monetario de la recaudación de impuestos por consumo de electricidad	Económico	Costo
	Impacto en el flujo monetario de la recaudación de impuestos por venta de equipos y servicios	Económico	Costo
<b>Bancos (agentes de crédito y préstamo)</b>	Aumento de ingresos por préstamos.	Económico	Beneficio
<b>Sociedad</b>	Creación de empleo	Socio-económico	Beneficio
<b>General</b>	Ahorro en la contratación de energía	Económico	Beneficio
	Reducción de las pérdidas en el sistema	Técnico-económico	Beneficio
	Reducción de las emisiones	Ambiental	Beneficio



## Parte 4:

Integración óptima de Generación Distribuida Renovable no Convencional (GDRNC) en la red eléctrica

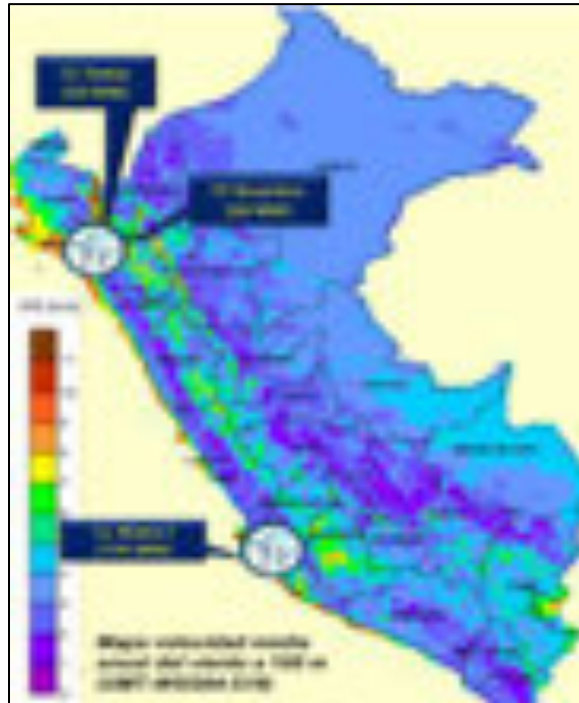


# Potencial de Energías Renovables en el Perú



## Fuente Hidráulica:

- Con un potencial teórico (técnico) de **69 445 MW**<sup>(1)</sup>
- Potencia efectiva de **4 942** <sup>(4)</sup> MW.
- **7.1 % del potencial**



## Fuente Eólica:

- Con un potencial teórico (técnico) de **28 395 MW** <sup>(2)</sup>
- Capacidad instalada de **243 MW**
- **0.9 % del potencial**



## Fuente Solar:

- Con un potencial teórico (técnico) <sup>(3)</sup>  
Sierra: 5.5 – 6.5 kWh/m<sup>2</sup>  
Costa: 5.0 – 6.0 kWh/m<sup>2</sup>  
Selva: 4.5 – 5.0 kWh/m<sup>2</sup>
- Capacidad instalada de **287.02 MW**

(1) Atlas del Potencial Hidroeléctrico del Perú – (DGER-MINEM, BM y GEF)

(2) Atlas del Potencial Eólico del Perú – ([http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/Electricidad/publicaciones/Atlas\\_Eolico\\_Final.pdf](http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/Electricidad/publicaciones/Atlas_Eolico_Final.pdf))

(3) Atlas de Energía Solar – (DGER, MINEM).

(4) Estadística de Operación 2018 (COES)

# **¿Como mejorar la calidad de servicio eléctrico en las radiales críticas?**

**SAIDI, SAIFI, Pérdidas, perfil de tensión, uso eficiente de recursos, sistema resiliente**

# Modelo estocástico multietapa para la selección del mix óptimo de generación distribuida renovable en sistemas eléctricos críticos

**Objetivo:** Mejorar la confiabilidad del **suministro eléctrico** y reducir los tiempos de interrupciones en los **sistemas de transmisión** críticos, mejorar el perfil de tensión, reducir las pérdidas, mediante la implementación de **centrales de generación** distribuida con recursos energéticos renovables ubicados óptimamente (RER-OP)”.



<https://www.smartgridsinfo.es/comunicaciones/modelo-estocastico-multietapa-la-seleccion-del-mix-optimo-generacion-distribuida-renovable-sistemas-electricos-criticos>



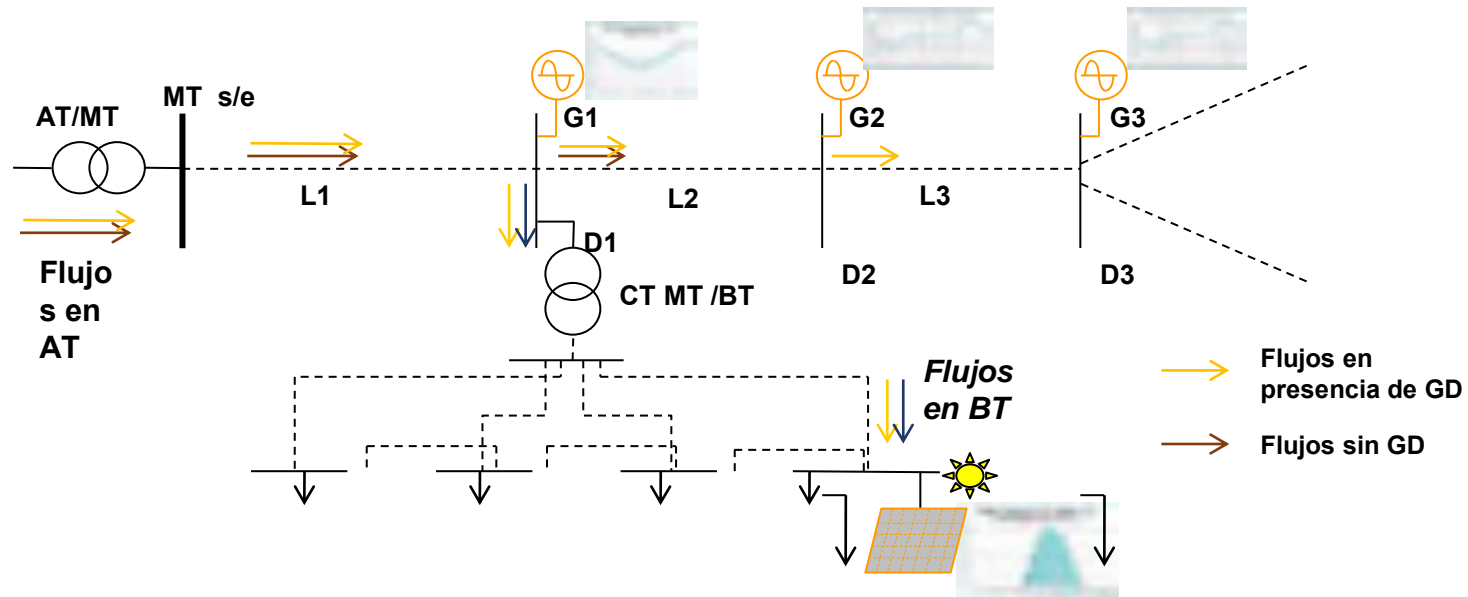
# Alcance

- El presente estudio **analiza, evalúa y optimiza los sistemas eléctricos críticos identificados por la DSE mediante el Informe Técnico N° DSE-CT-14-2017** desde un punto de vista energético. Para cada sistema eléctrico identificado se ubican y estiman posibles proyectos de centrales de generación eléctrica RER distribuidos en zonas aledañas a las instalaciones de transmisión involucradas.
- **Todas las posibles centrales de generación** en base a recursos eólico, solar e hídrico **son** puestas a competir mediante un modelo de optimización para finalmente obtener como resultado la mejor combinación de centrales que logran mejorar la calidad del servicio eléctrico.



# Ubicación óptima de Generación distribuida

Se han evaluado tres fuentes de generación: Generación fotovoltaica, Generación eólica y Generación con micro-turbinas hidráulicas



Análisis de redes de distribución	Análisis de impacto en el mercado mayorista	Valoraciones a nivel de cliente (VE)
<ol style="list-style-type: none"> <li>Pérdidas técnicas</li> <li>Costos de expansión o reforzamiento</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>Precio marginal</li> <li>Capacidad de reserva</li> <li>Emisiones de CO2</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>Emisiones de CO2 del VE</li> <li>Coste energético para usuarios de VE</li> </ol>

# Ubicación óptima de Generación distribuida - Metodología



Identificación de  
Sistemas  
Eléctricos Críticos

Identificación de  
Escenarios  
Futuros  
(Demanda,  
Proyectos de  
Inversión, etc)



Evaluación de  
Potencial  
Energético  
(Hídrico, Eólico y  
Solar)



Modelado  
Eléctrico y  
Energético de los  
Sistemas



Optimización  
Estocástica

M  
I  
X  
  
Ó  
P  
T  
I  
M  
O

# Bases de datos de potencial renovables



Hydro Potential

MEM  
Data



Data  
MEM  
Wind Potential

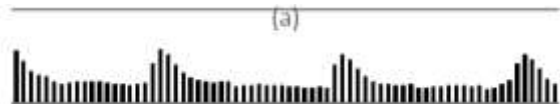


Solar Potential

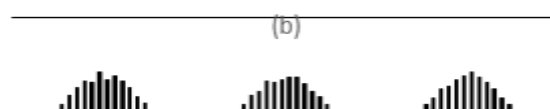
NASA  
United States



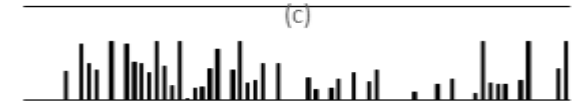
# Selección del Mix Óptimo de GD RER



Demanda



Producción Solar



Producción Eólica

$$\min CT = (\sum a_i^d C_{a_i}) + (\sum a_j^s C_r + \sum a_j^e C_r) + (\sum (A_1 + O\&M_1) \omega_1 + \sum (A_p + O\&M_p) \omega_p)$$

s.a.

$$\sum f_{i1}^d - \sum f_{i1}^s + \sum a_j^s + \sum A_j^p + \sum a_j^e = \sum a_j^s a_j^e - \sum a_j^s + \sum a_j^e \quad , \forall i \in N, t \in T$$

$$f_{i1}^d / h_1 + a_j^s a_j^e = 0 \quad , \forall i \in L^d, t \in T$$

$$|W_i^d| \leq f_{i1}^{\max} a_j^s a_j^e \quad , \forall i \in L^d, t \in T$$

$$|f_{i1}^d / h_1 + a_j^s a_j^e| \leq (1 - \omega_1) M \quad , \forall i \in L^d, t \in T$$

$$|W_i^d| \leq f_{i1}^{\max} \omega_1 \quad , \forall i \in L^d, t \in T$$

$$a_j^{\max} a_j^e \leq a_j^s \leq a_j^{\max} a_j^e \quad , \forall j \in G, t \in T$$

$$0 \leq A_j^p \leq \begin{cases} \omega_p A_p^{\max} & \text{si } t \in T \\ \omega_p A_p^{\max} & \text{si } t \in T \end{cases} \quad , \forall p \in Z^p, t \in T$$

$$\sum_{t \in T} A_j^p \leq E_p \quad , \forall p \in Z^p$$

$$0 \leq a_j^e = \zeta_j^e \omega_p \quad , \forall p \in Z^{e,s}, t \in T$$

$$\sum_{t \in T} \omega_1 \leq \omega_p \quad , \forall p \in Z$$

$$\sum \omega_p \leq 1 \quad , \forall p \in Z^{\text{mix}}$$

$$\sum_{p \in Z^{\text{mix}}} \zeta_p^{\max} \omega_p \leq \beta_j^{\max} \quad , \forall j \in N$$

$$\sum \omega_1 \leq a_j^{\max} - a_j^s \quad , \forall i \in L^s, t \in T$$

$$0 \leq a_j^s \leq a_j^s a_j^e \quad , \forall j \in N$$

$$0 \leq \zeta_j^e \leq \omega_p a_j^e \quad , \forall p \in Z^{e,s}$$

$$-\pi \leq \theta_j^s \leq \pi \quad , \forall j \in N, t \in T$$

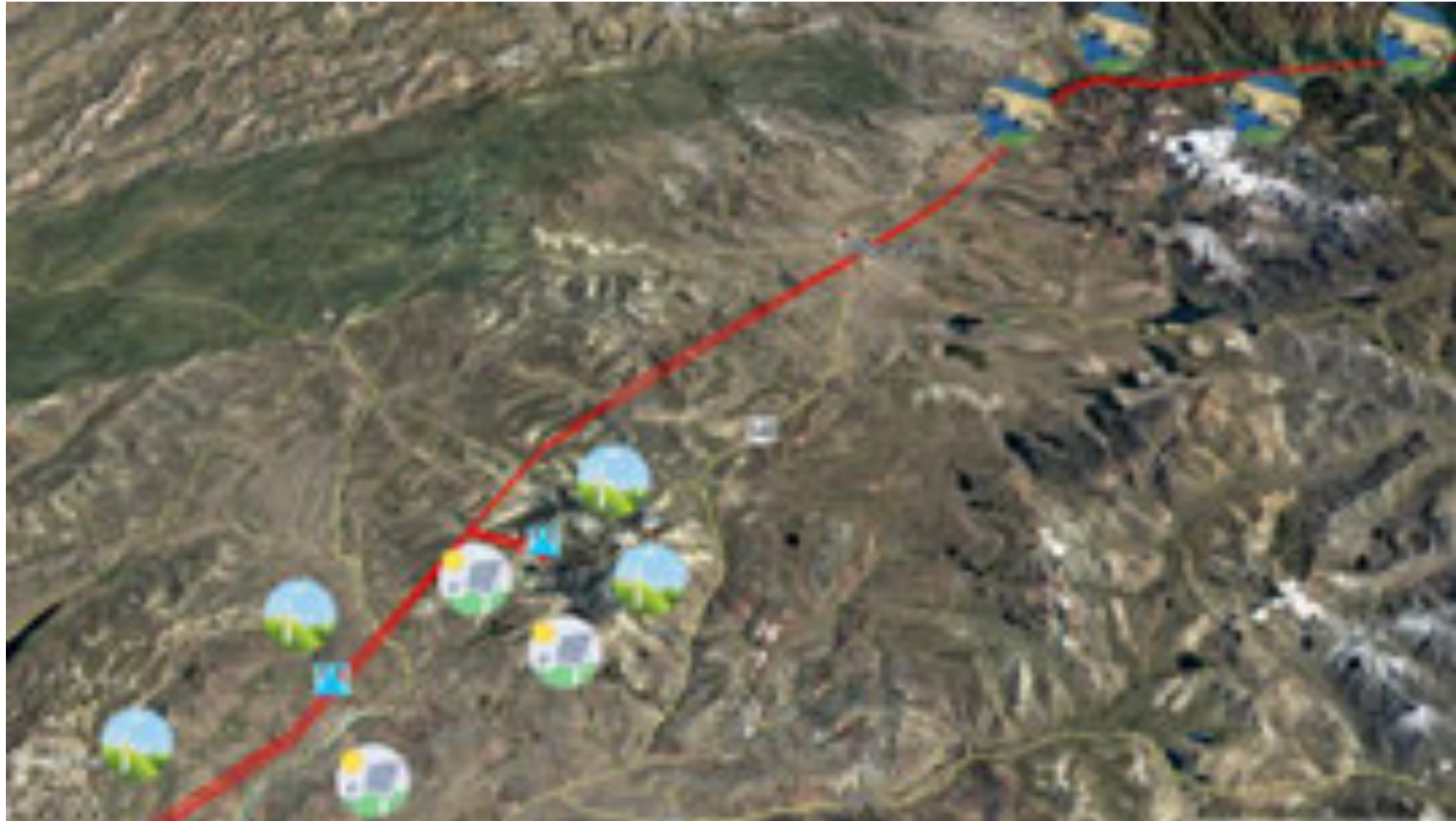


## Cloud Computing

Se usa la plataforma en línea NEOS Server para resolver el Modelo de Optimización Lineal Entero Mixto

8760 hr de simulación  
~2 Millones de Variables  
~1hr de procesamiento

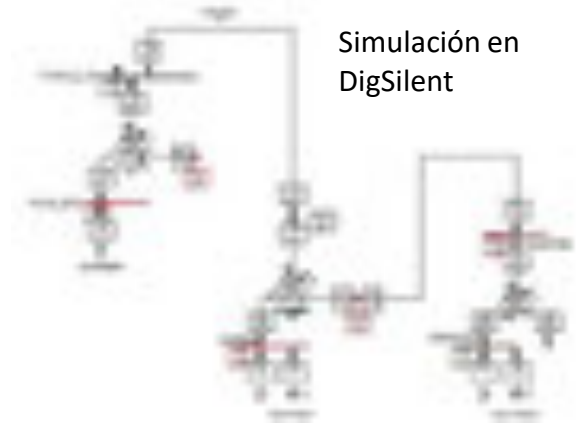
# Identificación del Potencial Energético CASO ESTUDIO



# Resultados de aplicación, Caso de estudio EPU: Puno – Pomata – Ilave - Bellavista

Se identifican en total 11 posibles proyectos energético para este sistema eléctrico, distribuidos entre las barras de Ilave 60 kV y Pomata 60 kV.

ID	Nombre Proyecto	Nº Generador	Nº Transformador	Nº Línea	Nº Barras	Costo	Capacidad	Estado
1	...	...	...	...	...	...	...	...
2	...	...	...	...	...	...	...	...
3	...	...	...	...	...	...	...	...
4	...	...	...	...	...	...	...	...
5	...	...	...	...	...	...	...	...
6	...	...	...	...	...	...	...	...
7	...	...	...	...	...	...	...	...
8	...	...	...	...	...	...	...	...
9	...	...	...	...	...	...	...	...
10	...	...	...	...	...	...	...	...
11	...	...	...	...	...	...	...	...



	CB0	CB2	CB3
Flow	Base	Distorsionado	Substent
NASH	4.13	6.79 (-40%)	6.79 (-40%)
NASH	1.86	0.80 (-48%)	0.80 (-48%)
Generación <sup>1</sup>	18.78	6.74	6.98
Consumo <sup>1</sup>	1.23	0.24	0.26
REB Wapug <sup>2</sup>	-	6.06	6.16
T	TL <sup>3</sup>	-	1.09
	REB <sup>3</sup>	-	79.46
Proyecto	-	02 Wind 02 Solar 01 Hydro 08 Lines	02 Wind 02 Solar 01 Hydro 08 Lines
Costo (M\$) (y)	265.76	36.17	36.17
Total F-CyM <sup>4</sup>	-	82.57	77.69
RE (M\$) (M\$)	-	2.016	2.150
Subvención	2.76	306.17 \$	306.50 \$

<sup>1</sup> Base de 1000 MW

# Resultados de aplicación del Modelo a nivel nacional

Año	Sistema	Demandas	Demandas	ENO	ENO	SAIDI	SAIDI	SAIFI	SAIFI	Proyectos	Proyectos	Inversión	Energía	B/C P
		2018	2020	Antes	Después	Antes	Después	Antes	Después	2018	2020	(\$M)	Utilizada	(2018-2020)
		(MW/hora)	(MW/hora)	(MW)	(MW)	(horas/año)	(horas/año)	(horas/año)	(horas/año)	(Miles)	(Miles)	(M)	(MWh)	(MWh/año)
Centro	SD-13 Changuayán - Villa Rica - Talca	25.4	25.4	4,411.7	1.1	22.1	0.0	22.0	0.0	0	121.4	22.1	4,411.7	122.1
	SD-17 Curicó - Melipal - Nueva - La Unión	1.1	4.4	22.1	27.3	4.4	1.1	22.0	0.0	1	4.2	22.1	75.0	27.3
	SD-18 Curicó - Curicó E - Melipal	46.9	61.1	1,420.4	222.4	22.0	1.2	22.0	4.9	20	222.4	122.7	1,122.1	22.4
	SD-20 Diego María - Aguilera	22.1	22.1	1,221.1	1,221.1	22.0	1.0	22.0	21.1	0	222.4	422.9	1,221.0	22.7
	SD-21 Huayquichil - Salcedo - Concepción	22.0	22.0	1,422.0	722.0	1.2	1.0	27.7	0.0	1	222.0	222.1	222.0	0.1
	<b>Total Centro</b>	<b>222.8</b>	<b>222.8</b>	<b>22,222.2</b>	<b>4,222.2</b>	-	-	-	-	<b>20</b>	<b>722.2</b>	<b>1,222.2</b>	<b>22,222.2</b>	-
Sur	SD-22 Chillán - Cañal	71.4	22.1	1,222.2	222.2	22.4	1.7	22.4	7.1	1	22.7	22.1	1,222.1	1,222.4
	SD-23 Hualte - Talcahuano	22.0	71.0	1,221.1	222.4	27.0	1.2	22.4	1.0	1	4.2	22.1	222.2	22.4
	SD-24 Talca - Pucall - Talcahuano - San Juan	27.0	27.7	1,222.4	222.7	22.1	4.3	22.0	0.1	1	22.7	22.1	1,222.0	22.2
	SD-25 La Florida - Maipo - Maipo	12.0	22.1	1,422.4	222.0	22.0	1.0	22.4	4.7	1	22.1	22.1	1,422.1	22.2
	SD-26 Guadalupe - Chaparral - Panguipón	222.2	222.1	1,222.4	1,222.4	1.0	1.0	1.1	4.1	0	27.1	22.1	1,222.1	22.1
	SD-27 Trujillo Norte - Santiago de las - Maipo	22.0	22.1	1,222.1	1,722.0	22.0	0.0	22.1	22.0	0	22.1	27.1	1,222.2	22.2
	SD-28 Talcahuano - Panguipón - Biña	22.4	272.4	1,222.1	222.0	1.2	1.0	22.1	7.1	0	222.0	422.0	772.4	2.7
	SD-29 Chillán - Maipo - Maipo	22.0	22.1	22.0	22.0	0.0	0.0	1.4	1.4	-	-	-	-	-
	SD-30 Panguipón - Nueva - Maipo	1.4	1.4	-	-	0.0	0.0	0.0	0.0	-	-	-	-	-
	<b>Total Sur</b>	<b>422.4</b>	<b>422.7</b>	<b>22,222.1</b>	<b>22,222.2</b>	-	-	-	-	<b>27</b>	<b>422.4</b>	<b>1,222.4</b>	<b>22,222.4</b>	-
Norte	SD-31 Maipo - Maipo - Bella Unión	22.0	22.1	1,222.4	1,222.4	22.4	27.0	22.4	42.0	1	22.1	27.4	1,222.1	22.1
	SD-32 Maipo - Maipo - Casa Grande	22.1	22.7	22.1	-	0.0	0.0	4.4	0.0	1	4.1	22.1	22.1	42.1
	SD-33 Coquimbano - Coquimbano - Unión	22.1	22.1	1,222.7	222.1	1.4	1.0	22.1	0.0	1	22.1	22.4	222.1	22.0
	SD-34 Copiapó - Maipo - Huancabamba	42.7	47.0	222.0	22.1	27.7	0.2	22.0	1.1	2	47.4	27.1	222.0	42.4
	SD-37 Puyo - Puyo - Maipo - Bellavista	22.0	22.1	222.4	-	4.1	0.0	22.1	0.0	2	27.1	42.0	222.4	22.7
	SD-38 Maipo - Maipo - Maipo	22.7	42.7	222.0	-	0.0	0.0	4.1	0.0	1	22.4	27.4	222.4	27.4
	SD-39 Huancabamba - Maipo - Huancabamba	27.4	42.0	272.1	42.7	1.0	0.0	4.1	1.1	1	27.0	22.1	222.4	22.7
	SD-40 Antofagasta - Puyo	42.7	22.0	222.7	22.0	1.1	0.0	4.1	0.1	0	22.1	22.1	222.1	22.4
	SD-41 Antofagasta - San Rafael - Antofagasta	47.7	22.1	222.1	22.0	1.0	0.0	4.0	0.1	0	222.7	222.4	222.4	2.1
	SD-42 Maipo - Coquimbano	22.1	22.1	22.1	-	0.0	0.0	0.0	0.0	0	222.2	27.1	22.1	1.1
	SD-43 Los Hornos - Antofagasta - Tomasti	4.0	0.1	22.0	22.0	1.1	1.1	0.7	0.7	-	-	-	-	-
<b>Total Norte</b>	<b>222.7</b>	<b>422.0</b>	<b>1,222.4</b>	<b>1,222.7</b>	-	-	-	-	<b>27</b>	<b>222.4</b>	<b>1,222.4</b>	<b>1,222.7</b>	-	
<b>Total Centro + Sur + Norte</b>	<b>1,122.8</b>	<b>1,122.8</b>	<b>22,222.4</b>	<b>22,222.4</b>	-	-	-	-	<b>20</b>	<b>1,222.4</b>	<b>1,222.4</b>	<b>22,222.4</b>	-	

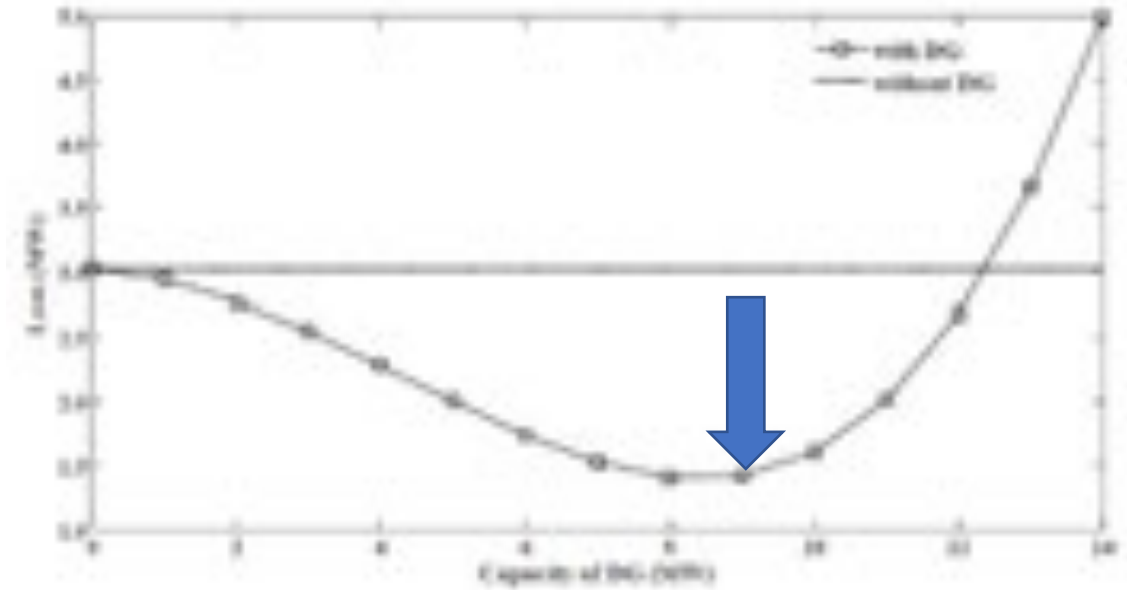
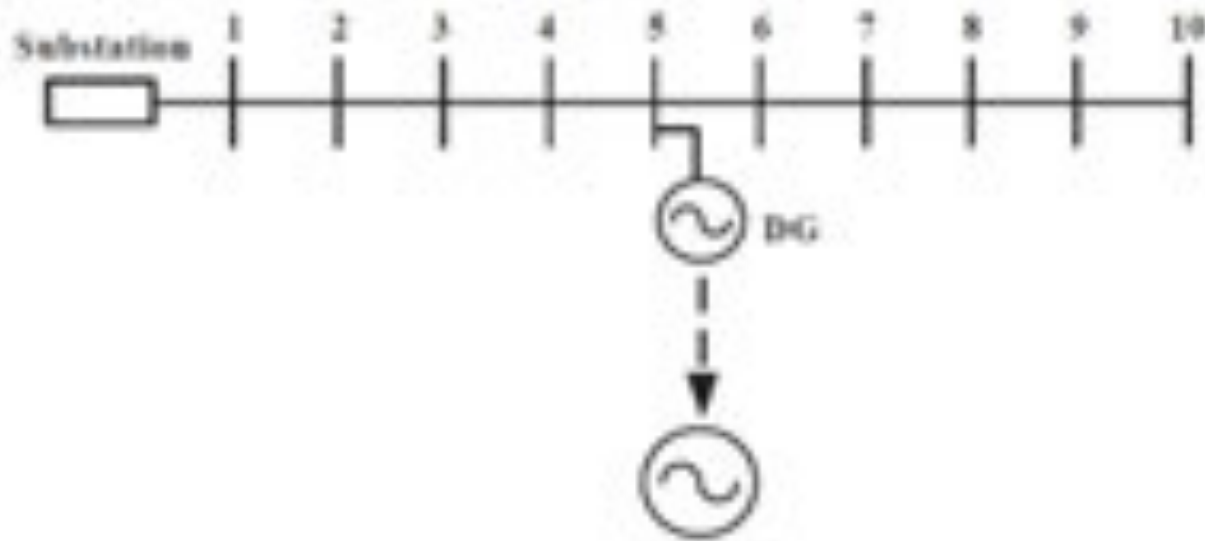
Tabla C.0.1. Resumen general de demandas (2018 y 2020 escenario de simulación), energía no suministrada (ENS) (antes y después), indicadores SAIDI y SAIFI (antes y después), cantidad de proyectos, potencia e inversión RER, energía utilizada o no-racionada e índice Beneficio-Costo Ponderado B/C P agrupada por área y por sistema eléctrico crítico.

**¿Que factores influyen en la  
reducción de pérdidas en la GD?**



# Impacto de la GD y las Perdidas de energía

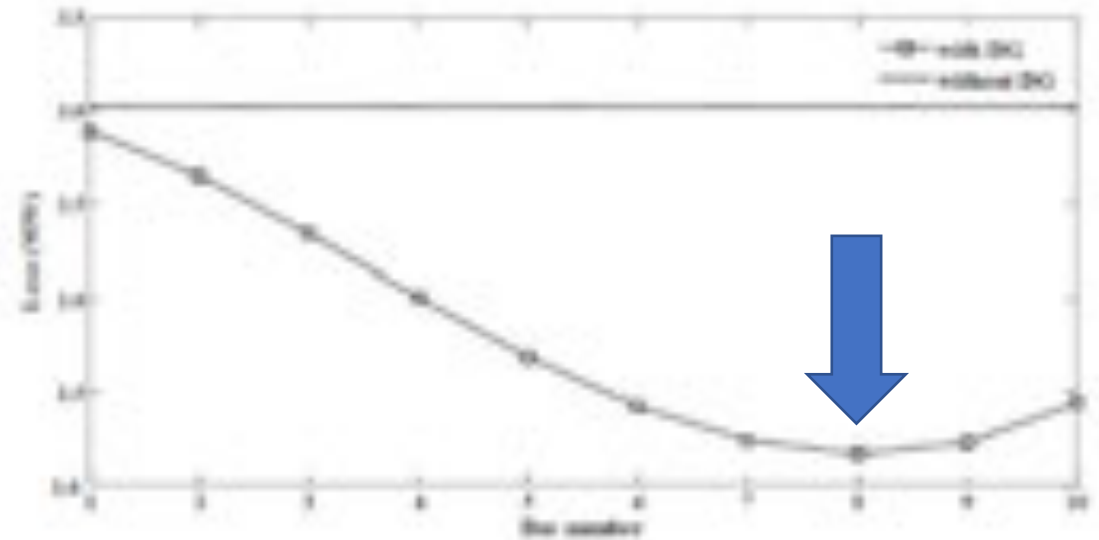
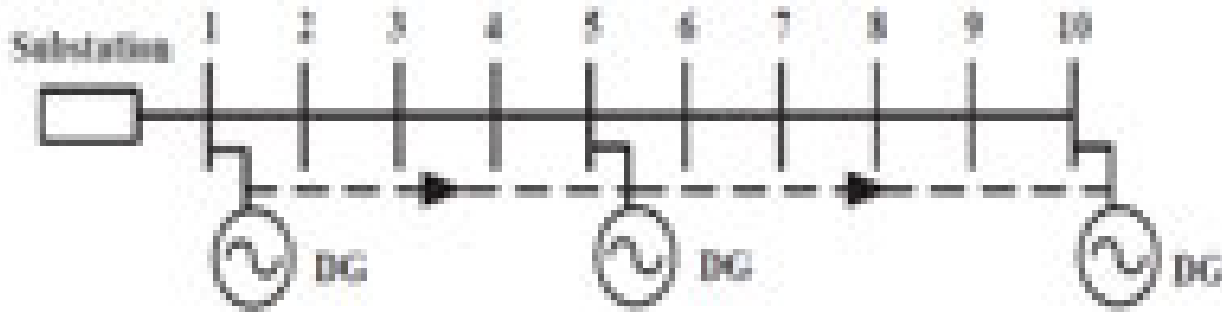
$$P_{Loss} = \sum_{b=1}^{NB} 3|I_b|^2 R_b$$



**Pérdida dependen del tamaño de la DG**

Sistema de distribución con diferentes tamaños de GD conectado a la barra 5

# Impacto de la GD y las Perdidas de $\epsilon$ $P_{Loss} = \sum_{i=1}^{10} 3|I_i|^2 R_i$



Sistema de distribución con DG de 7 MW colocado en diferentes Barras

**Pérdida depende de ubicación de la DG**









## Parte 5: Conclusiones

# Conclusiones y reflexiones

- ✓ La GD adaptada óptimamente a la red resuelve problemas principales del sistema eléctrico en lo que respecta a confiabilidad, pérdidas y perfil de tensión
- ✓ Es posible postergar inversiones en Transmisión y Generación concentrada poco flexible con la GD adaptada óptimamente a la RED.
- ✓ Las pérdidas eléctricas dependen de la ubicación y el tamaño de la GD, se debe analizar.
- ✓ La operación de la GD debe ser totalmente automatizada para una gestión de la red mas eficiente con menos interrupciones y en forma económica, debe utilizarse técnicas de IA para el despacho optimo automático de la GD uso de MODG.
- ✓ Hay que ubicar óptimamente la GD en base a los recursos energéticos disponibles de cada zona
- ✓ El diseño del sistema eléctrico con la GD debe ser competitivo, sostenibles y resiliente.
- ✓ Cualquier mejora en la red debe buscar un beneficio 360, los usuarios, los inversionistas y la sociedad en su conjunto.



# Muchas gracias!!!!

**Leonidas Sayas Poma, Msc, MBA, Ing.**

Gerente de Supervisión de Electricidad Osinergmin

Profesor Smart Grid Applications ESAN Graduate School of Business

[lsayas@osinergmin.gob.pe](mailto:lsayas@osinergmin.gob.pe)

