

# Inteligencia Artificial y Machine Learning aplicados al Análisis de la Operación



## *Comité C2. Operación*



**cigre**  
Colombia





- Ingeniero electrónico y electricista de la Universidad Tecnológica de Bolívar.
- MSc Ingeniería – Automatización Industrial de la Universidad Nacional de Colombia (UNAL).
- Actualmente, estudiando PhD en Recursos Energéticos en la UNAL.
- +10 años de experiencia en XM en las áreas de operación de tiempo real y aseguramiento de la operación.
- Participación en proyectos de mejoras de procesos, de investigación en metodologías basadas en datos y de desarrollo de herramientas para la operación.

# Contenido

- Contexto Global.
- Análisis de la Operación.
- Casos de uso.
- Proyectos a nivel mundial.
- Retos, Desafíos y Preocupaciones.



# Contexto Global

## Transición Energética



**cigre**

For power system expertise



# Transición Energética



Descarbonización



Descentralización



Digitalización



Software-defined networking/computing

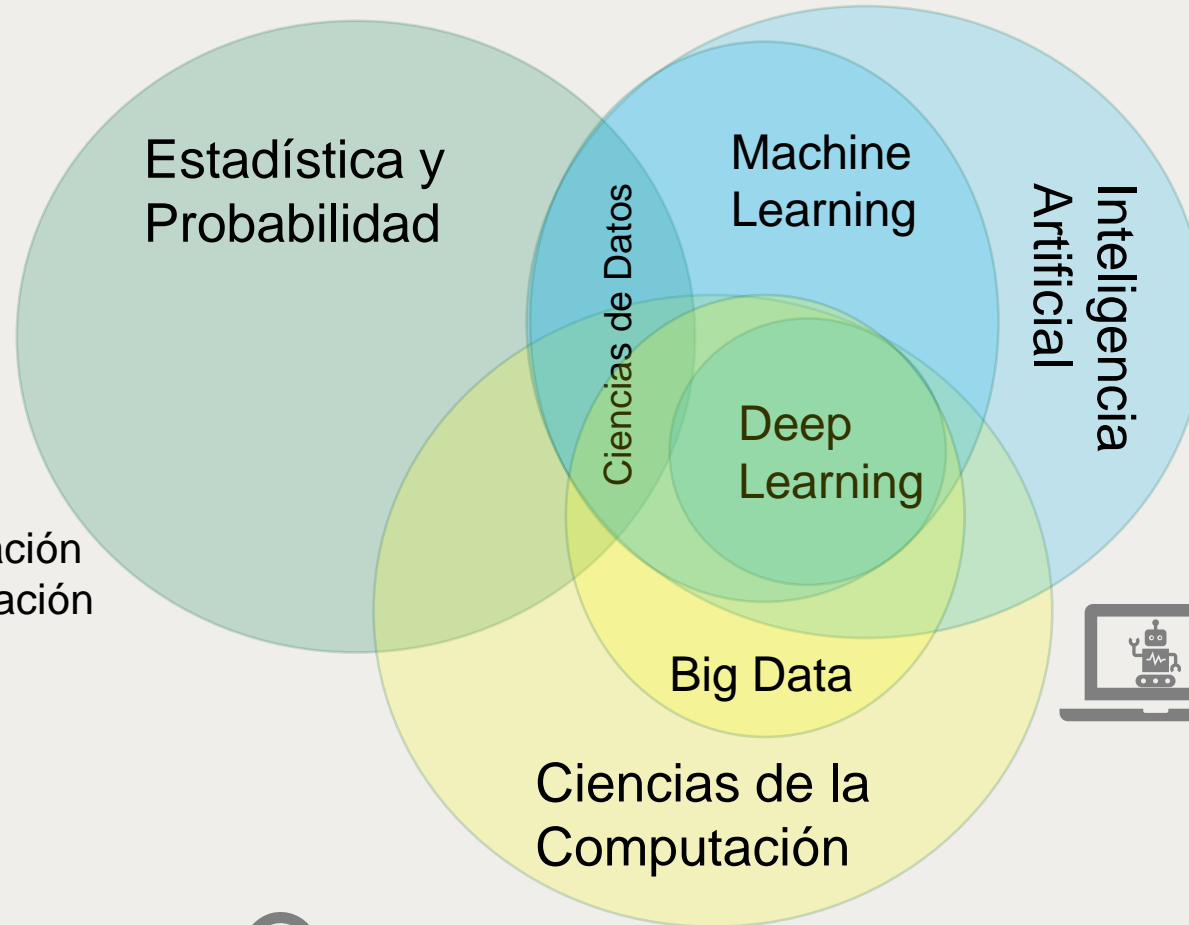


Internet of Things (IoT)



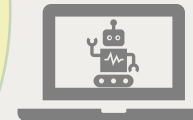
Inteligencia Artificial y  
Análítica de Datos

# Inteligencia Artificial / Análisis de Datos



Ciencia de:

- Análisis
- Presentación
- Interpretación de Datos



Da a las máquinas capacidad de :

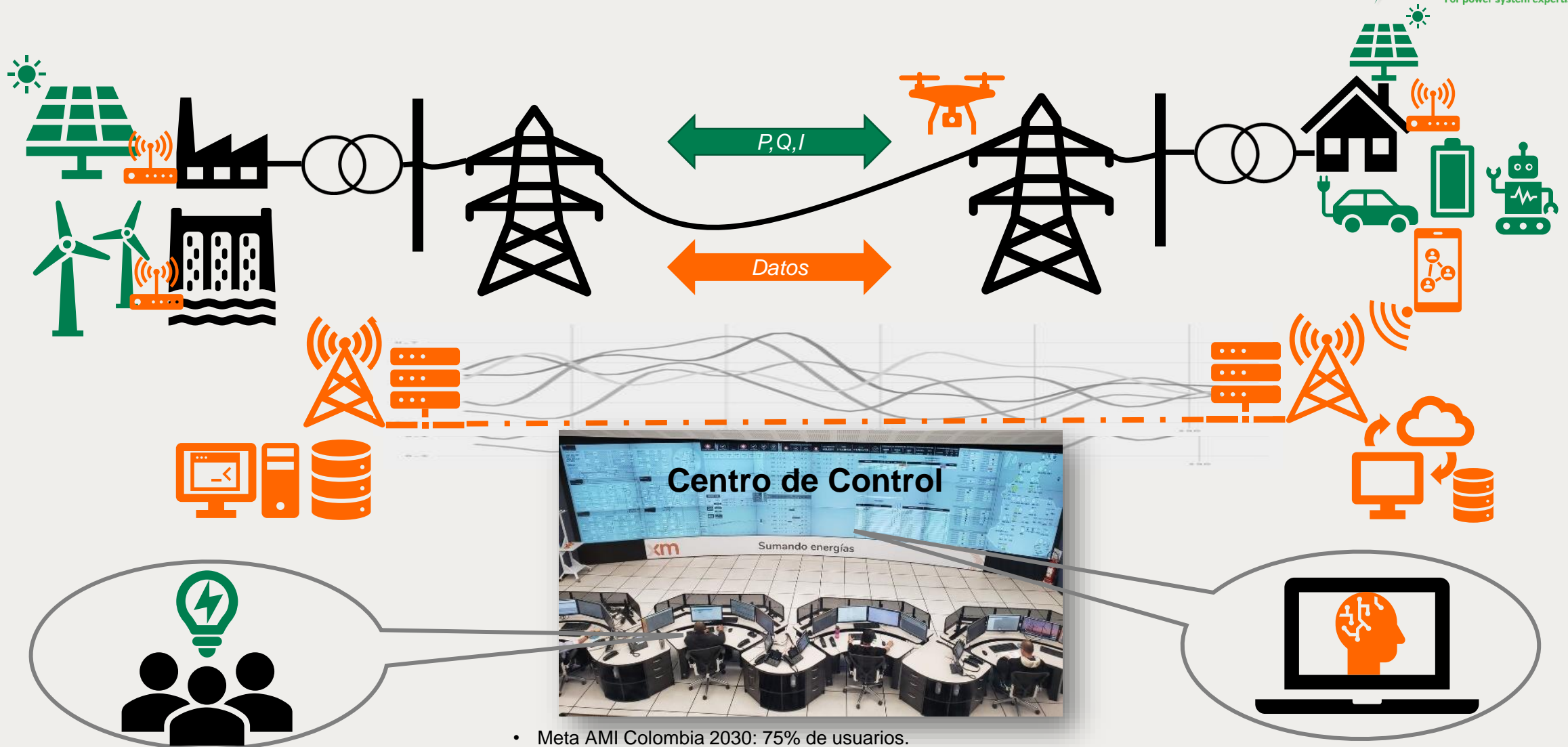
- Aprender
- Resolver problemas
- Representar conocimiento



Computación:

- En la nube
- Lenguaje de programación
- Capacidad de procesamiento

# Transición Energética en la Operación de SEP



- Meta AMI Colombia 2030: 75% de usuarios.
- Meta Renovables Colombia 2022: 14% Matriz Energética (2400 MW).

# Operación de Sistemas de Potencia

Tipos de Análisis

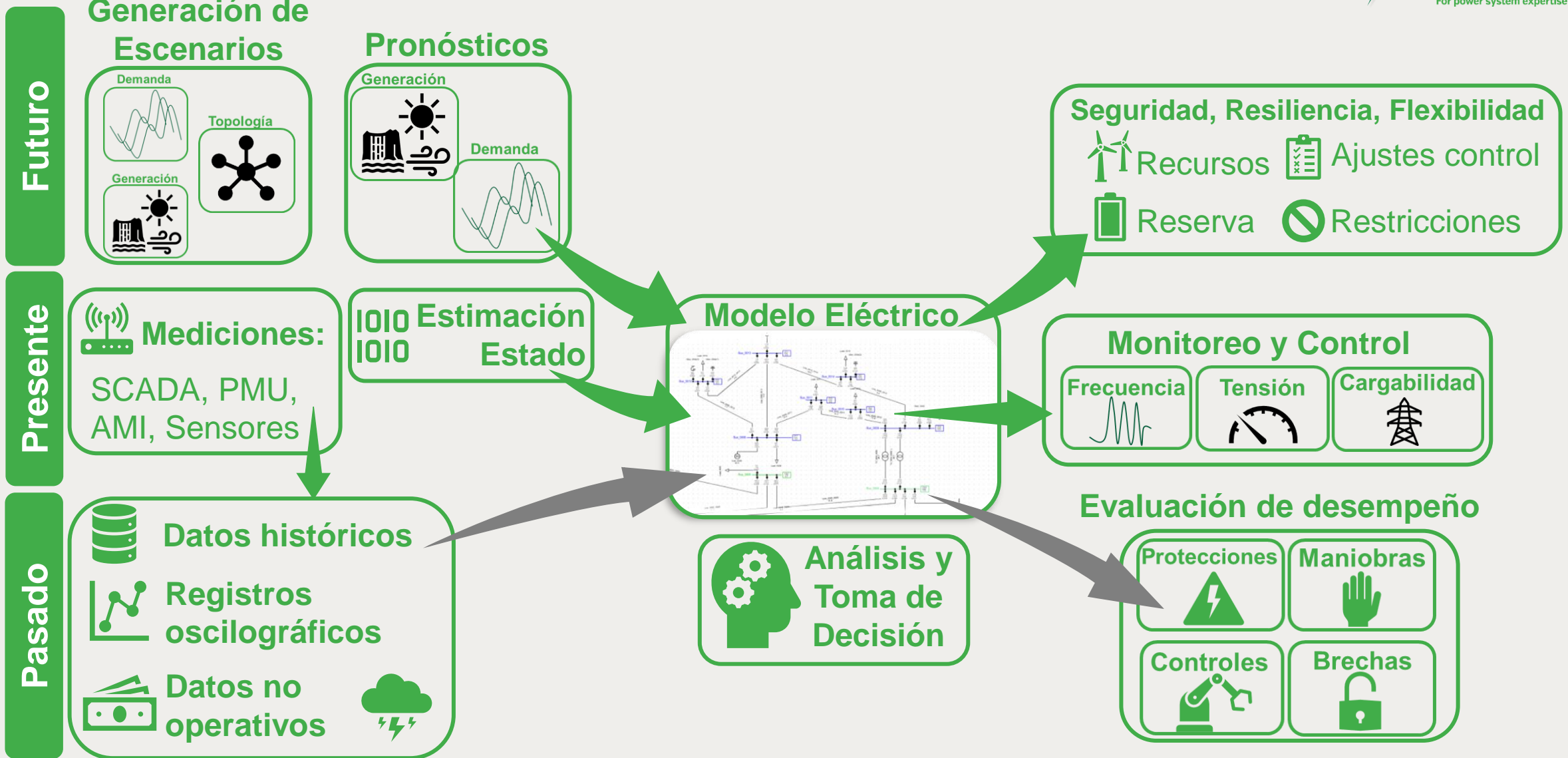


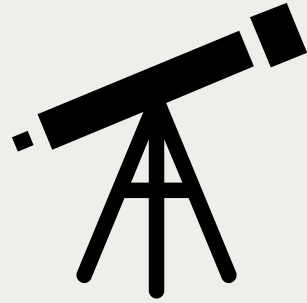
**cigre**

For power system expertise



# Análisis en la Operación de SEP





# Análisis de la Operación

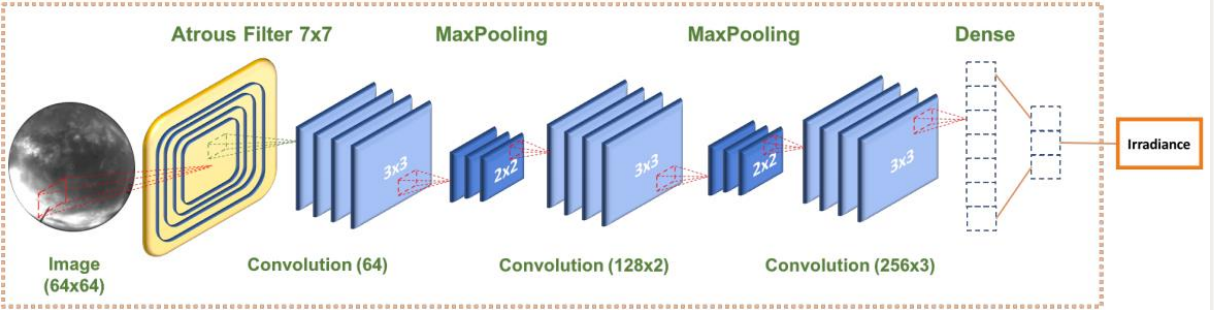
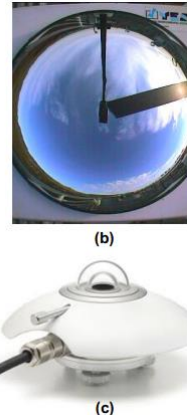
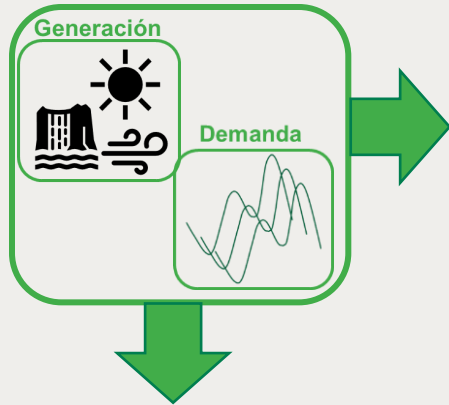
Escenarios Futuros



**cigre**

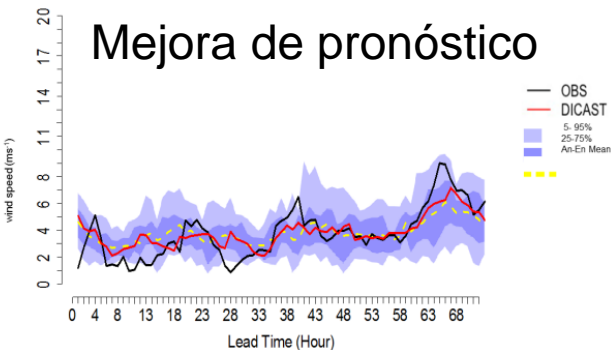
For power system expertise

# Pronósticos



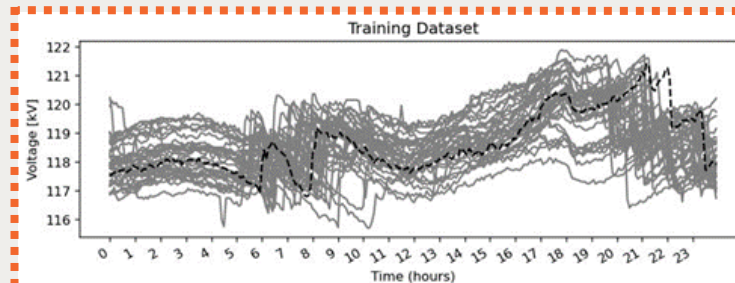
Pronóstico con visión artificial

Tomado de 1901.04881.pdf (arxiv.org)

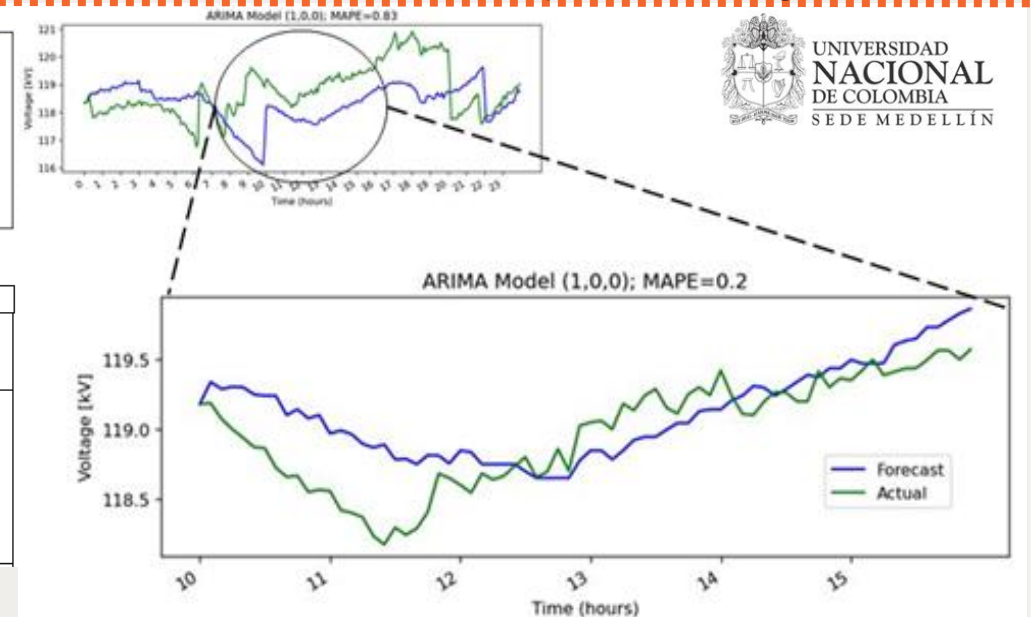


Tomado de <https://doi.org/10.3390/en13061372>

## Pronóstico de tensión: Proyecto Energética 2030



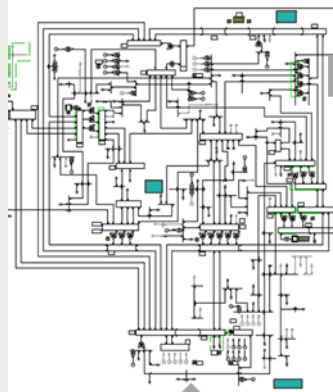
Model name	Metrics					Time Horizon [h]
	Average MAPE [%]	Cases 1,2,3,4,5 MAPE [%]				
ARIMA(1,0,0)	0.70	1.14, 0.92, 0.52, 0.41, 0.51	6			
SES	0.71	1.18, 0.90, 0.52, 0.42, 0.52				
SHM	0.67	1.04, 1.10, 0.41, 0.39, 0.42				
RNN	1.02	1.72, 1.63, 0.6, 0.55, 0.60				
Persistence	1.10	2.01, 1.77, 0.6, 0.59, 0.51				



# Rutas de Restablecimiento: Datos del Modelo

## Resiliencia y Seguridad Eléctrica

### Modelo eléctrico



Resultados

Lógica e Interfaz de usuario



python

Comandos

Conector Power Factory

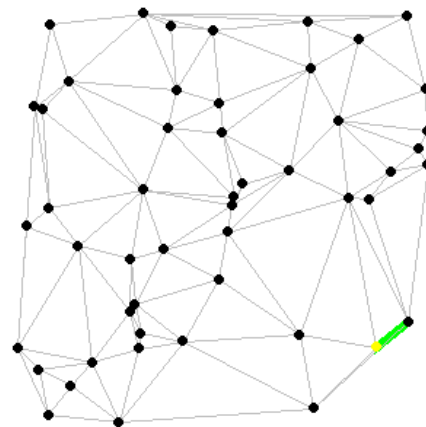
Simulación



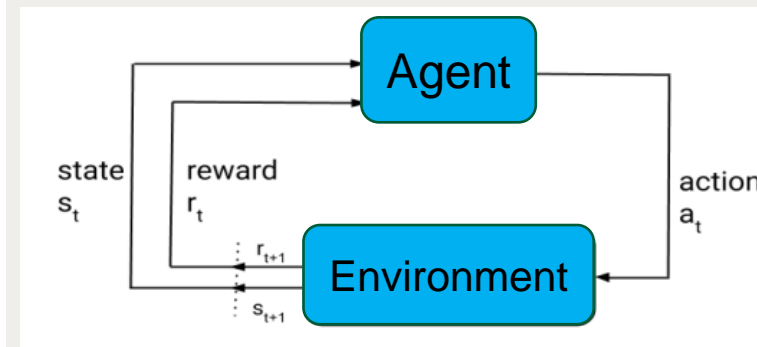
Proyecto Plataforma Operación Futura (PAO)

### Algoritmos de Búsqueda

Dijkstra's algorithm

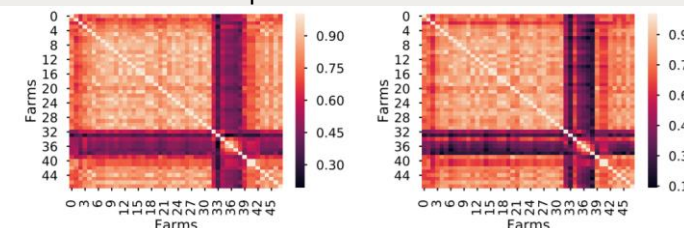


### Deep reinforcement learning

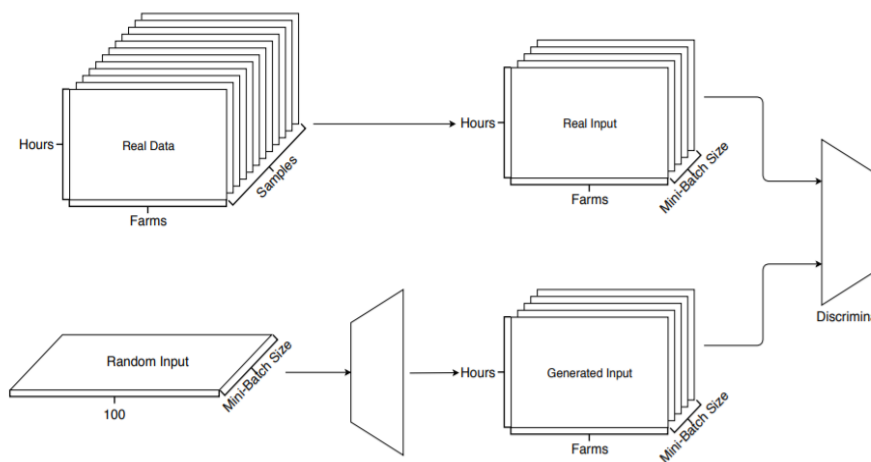
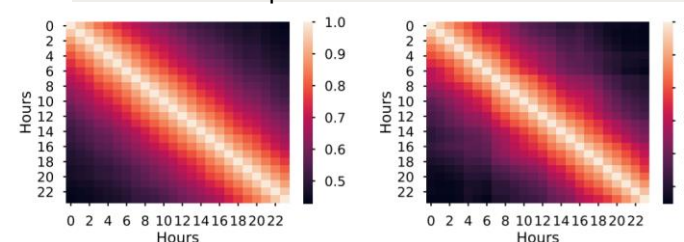


## GAN para planeación de escenarios de operación con renovables

Relación espacial: Real v.s. Generado



Relación temporal: Real v.s. Generado

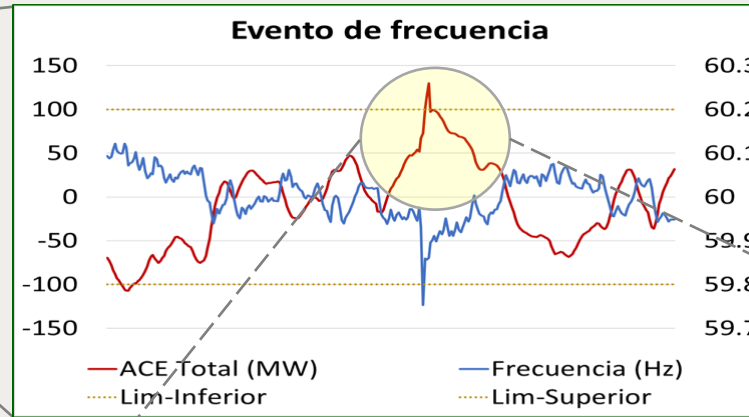
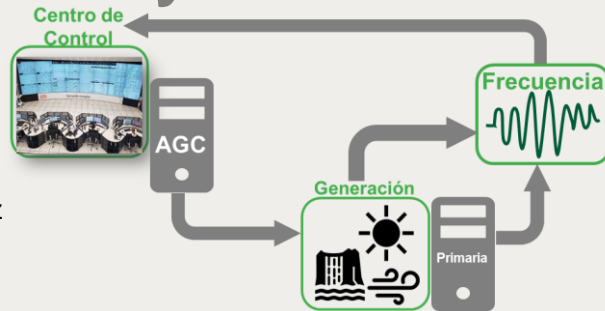


# Definición de Reservas: Datos SCADA/Modelo

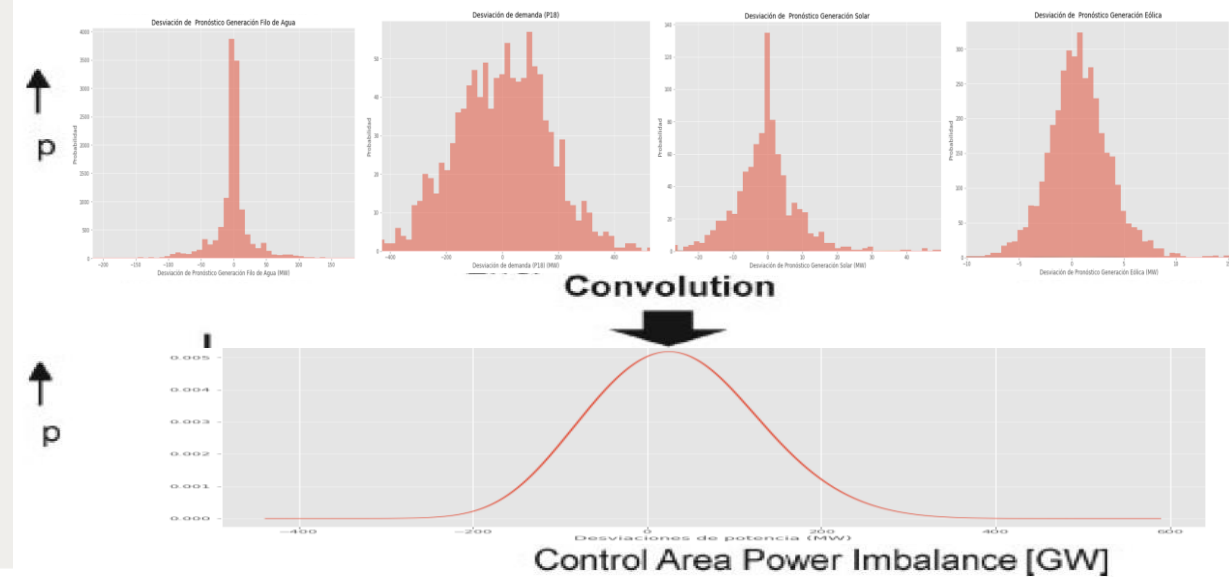
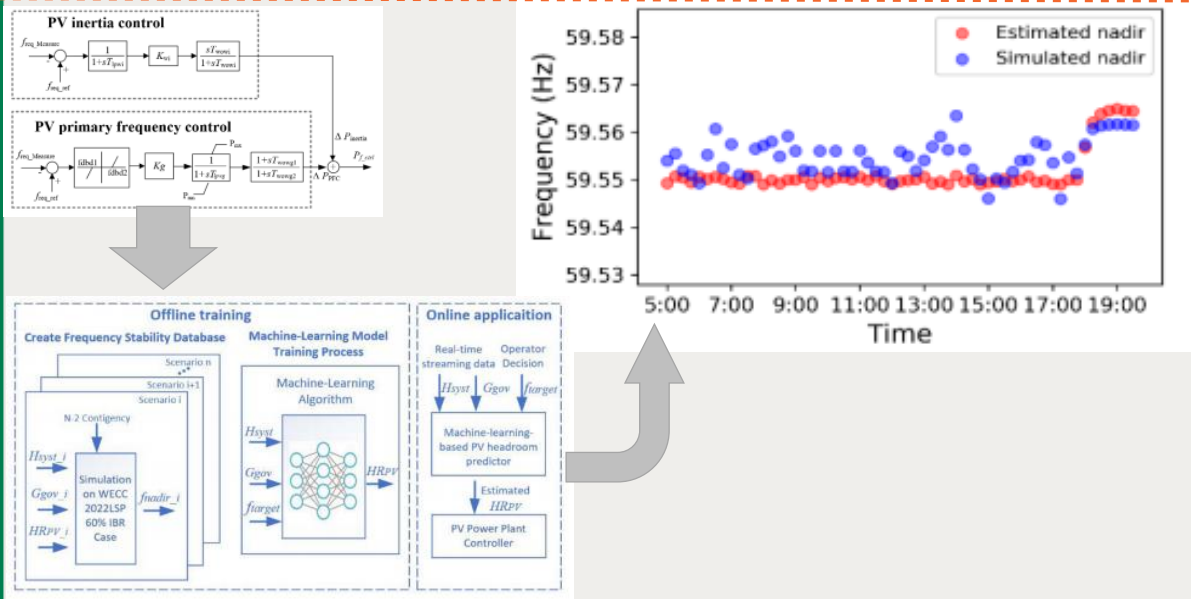
## Resiliencia y Flexibilidad



Neby Castrillón  
Juan C González



Tomado <https://www.nrel.gov/docs/fy20osti/76048.pdf>



Tomado de: C. Maurer, S. Krahl, and H. Weber, "Dimensioning of secondary and tertiary control reserve by probabilistic methods," *Int. Trans. Electr. energy Syst.*, vol. 19, no. January, pp. 544–552, 2009.



# Análisis de la Operación

## Tiempo Real y Muy Corto Plazo



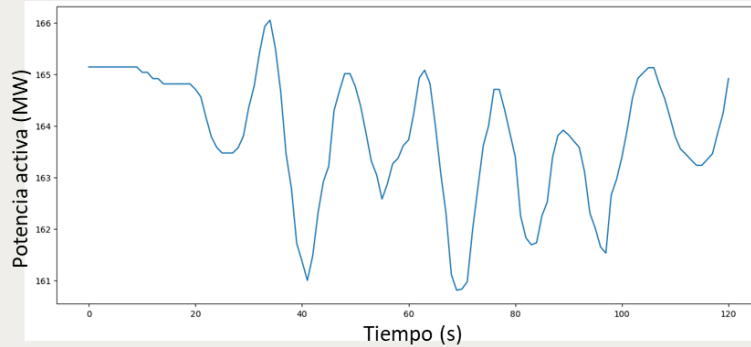
**cigre**

For power system expertise

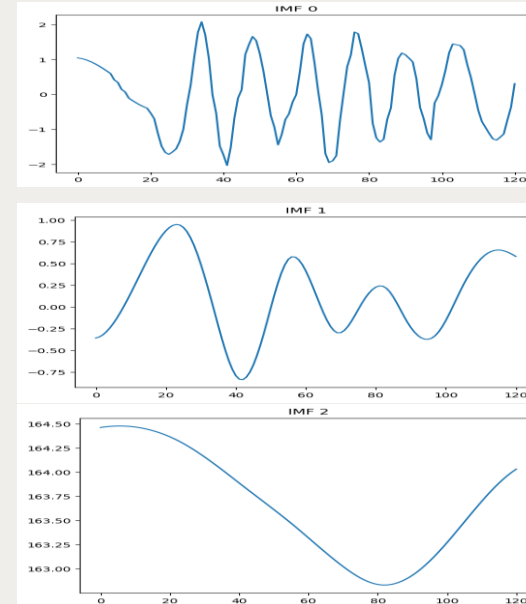
# Detección de oscilaciones: Datos SCADA/PMU



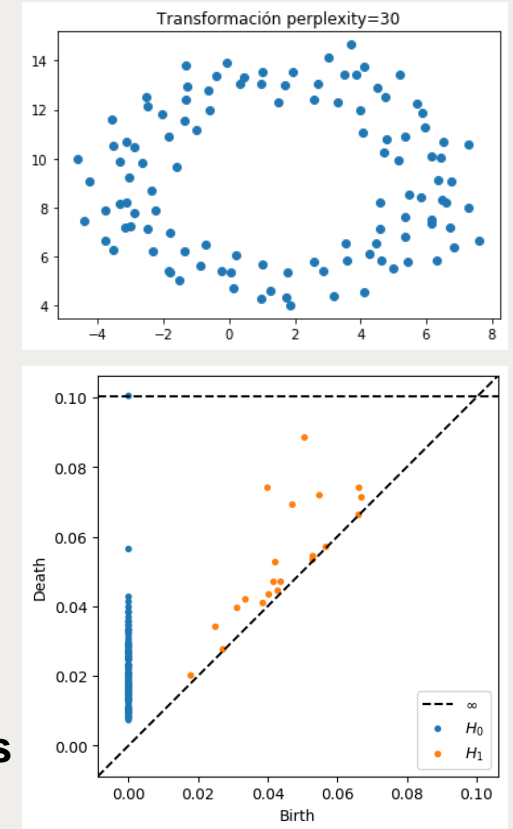
Proyecto Plataforma  
Operación Futura  
(PAO)



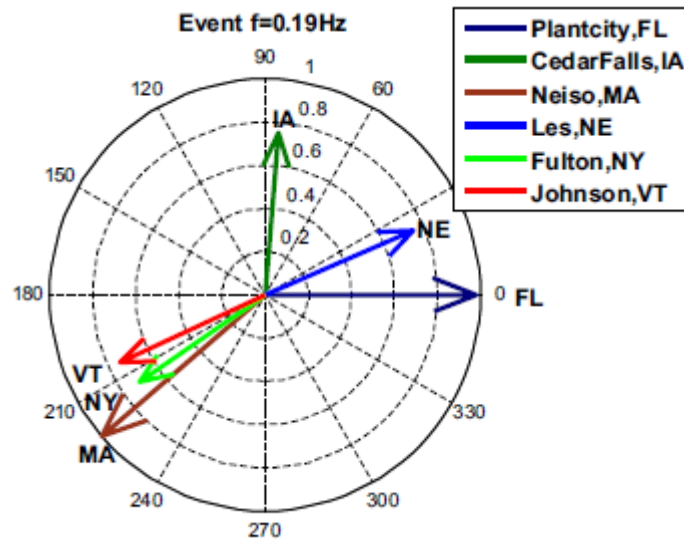
## Empirical Mode Decomposition



## Topological Data Analytics

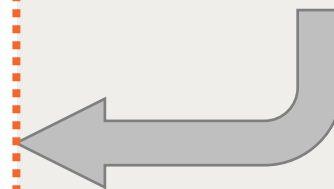


Tomado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378779616000158>



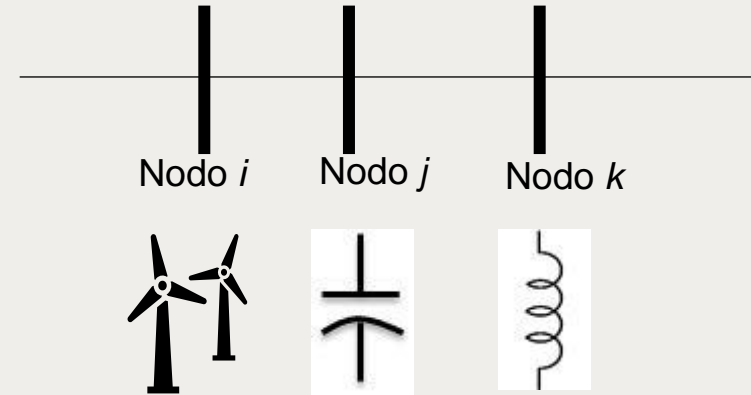
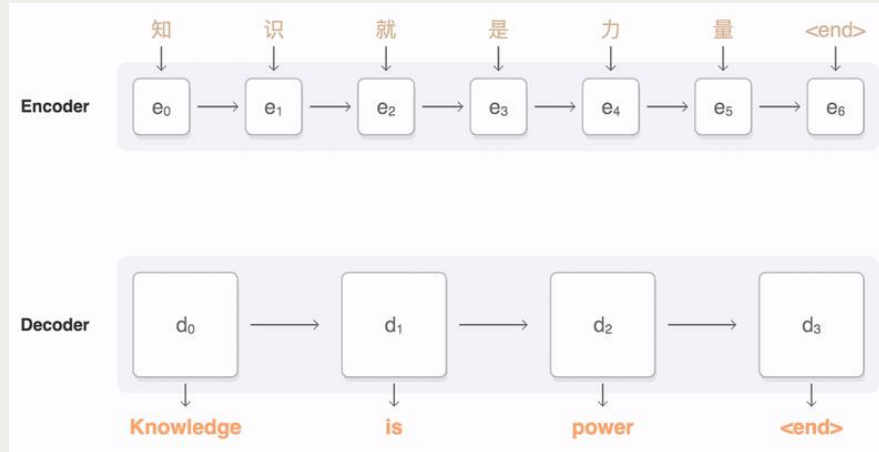
Ventajas:

- Resistente al ruido
- Resistente a valores faltantes
- Invariante

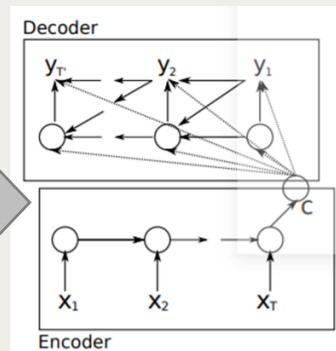
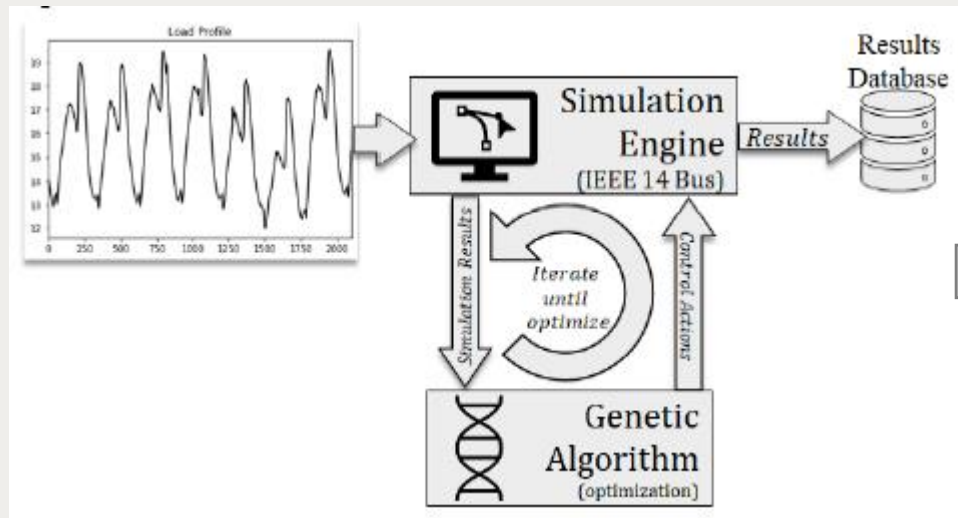


# Control de Tensión: Datos SCADA

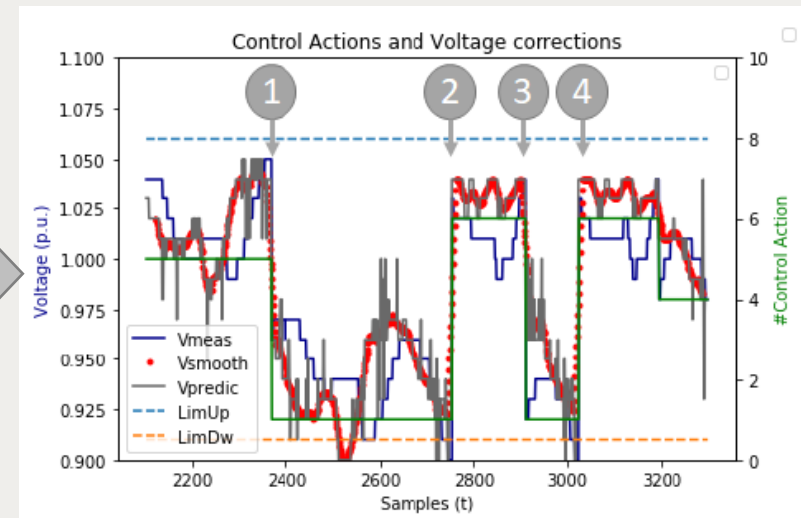
Control de tensión: Proyecto Energética 2030



Tomado de <https://google.github.io/seq2seq/>



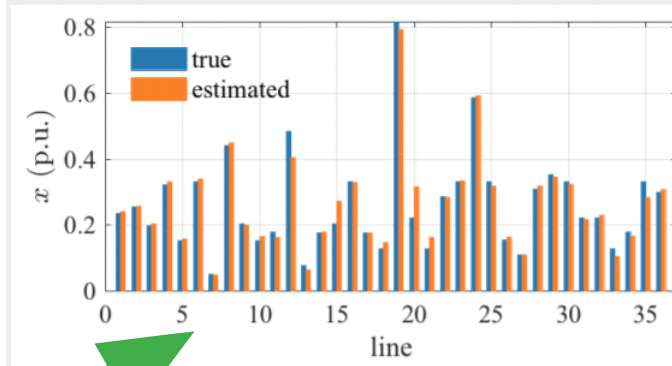
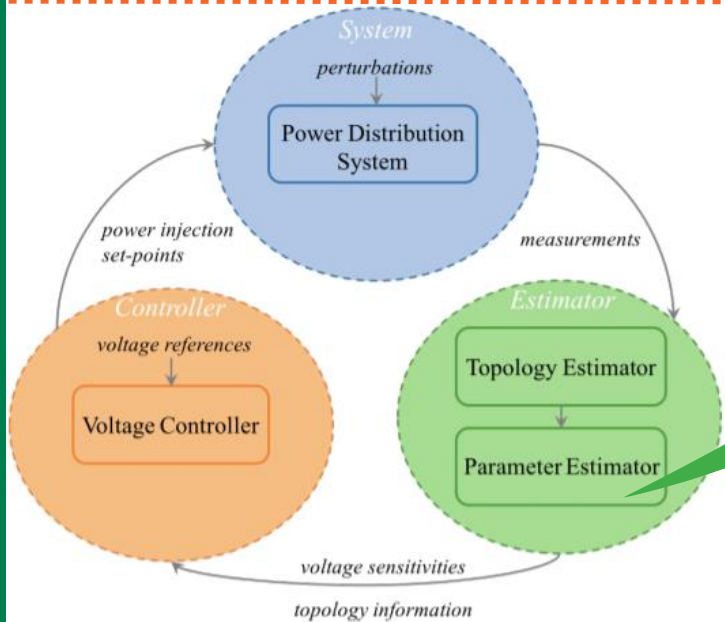
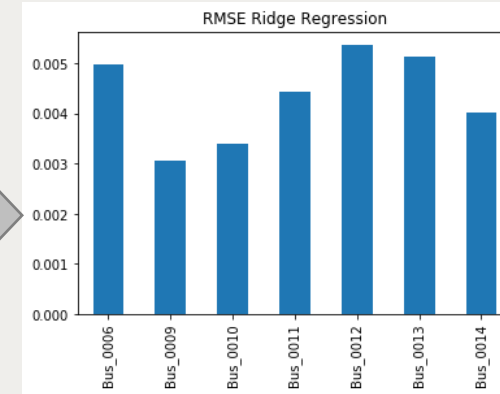
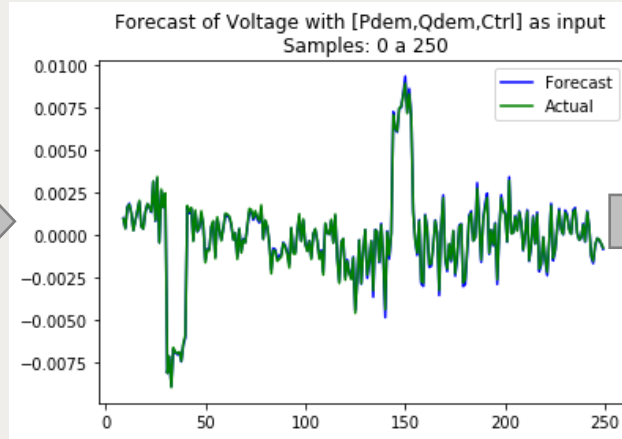
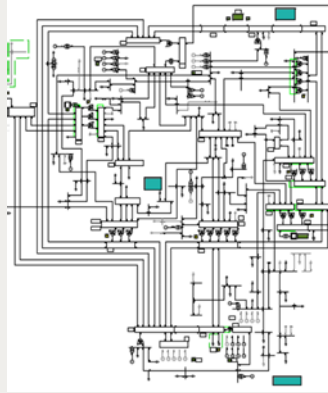
Fuente: "Learning Phrase Representations using RNN Encoder-Decoder for Statistical Machine Translation"



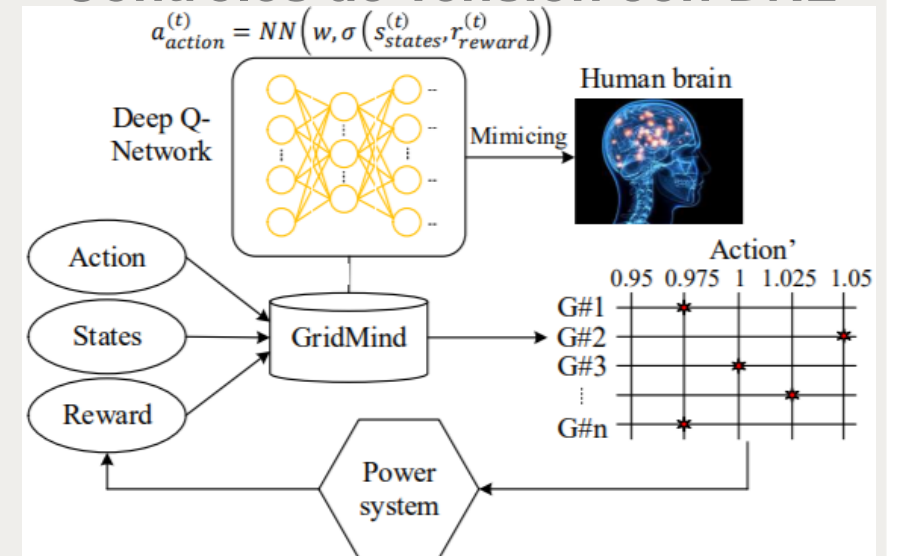


# Control de Tensión: Modelo y SCADA

## Controles de Tensión con OSI: Proyecto Energética 2030



## Controles de Tensión con DRL



# Análisis de la Operación

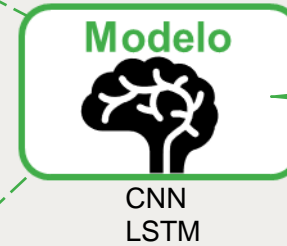
Pasado: Datos históricos



# Evaluación de Desempeño: Reg Oscilográficos



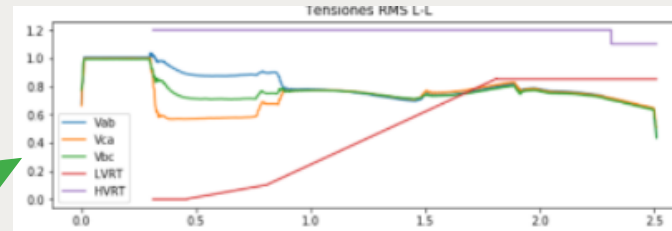
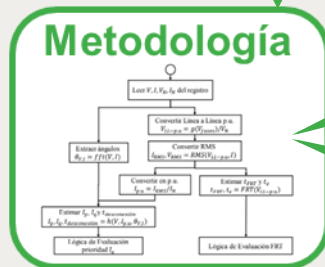
**xm** Nolasco Orrego  
Milton Ceballos  
15 AÑOS Sumando energías



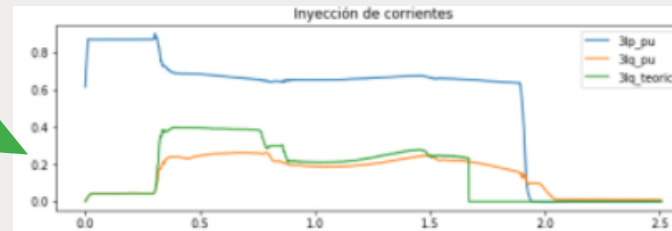
- Detección de falla
- Clasifica tipo de falla
- Selección fase fallada



**xm** Florez, Juan Manuel y Meza, Victor.  
"Analysis of Reactive Current-Voltage  
Performance for Inverter-Based Resources"  
15 AÑOS Sumando energías



Desempeño de característica VRT



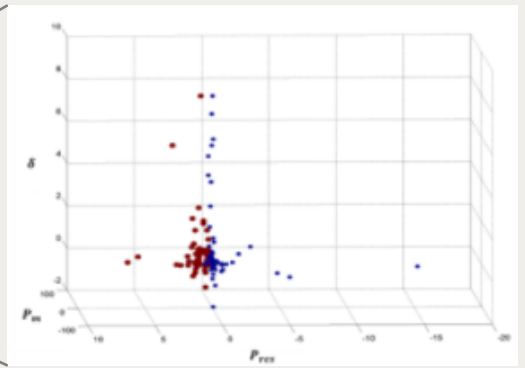
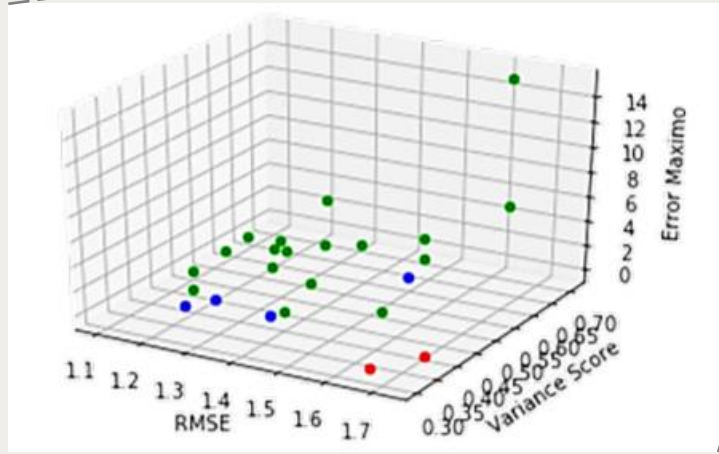
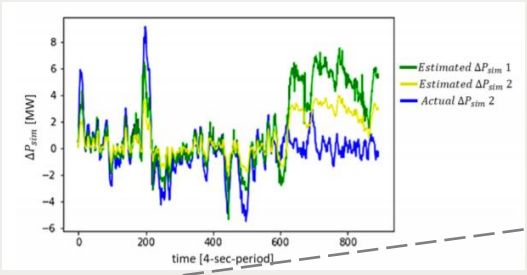
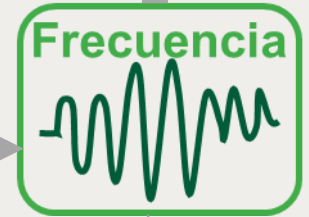
Desempeño de característica inyección prioritaria de corriente reactiva

# Evaluación de Desempeño: Datos SCADA

## Controles de Frecuencia Eléctrica

Metric	Performance Percentage (%)		
	Boolean	SVC	LRC
Recall	86.3	98.9	93.4
PPV	86	99.4	95.4
ACC	86.3	98.9	93.5

Centro de Control



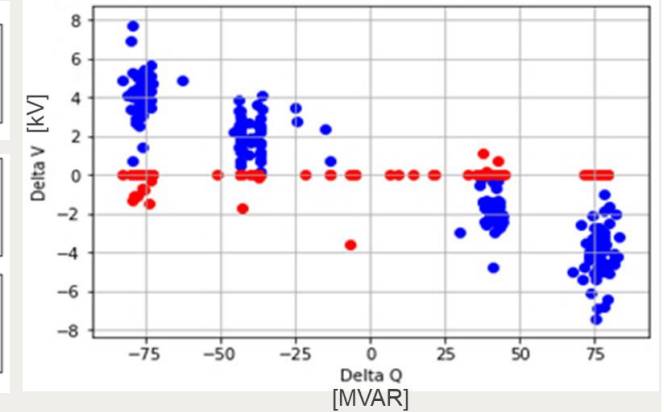
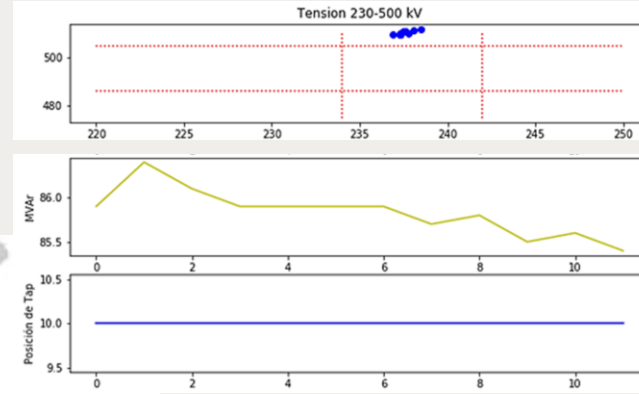
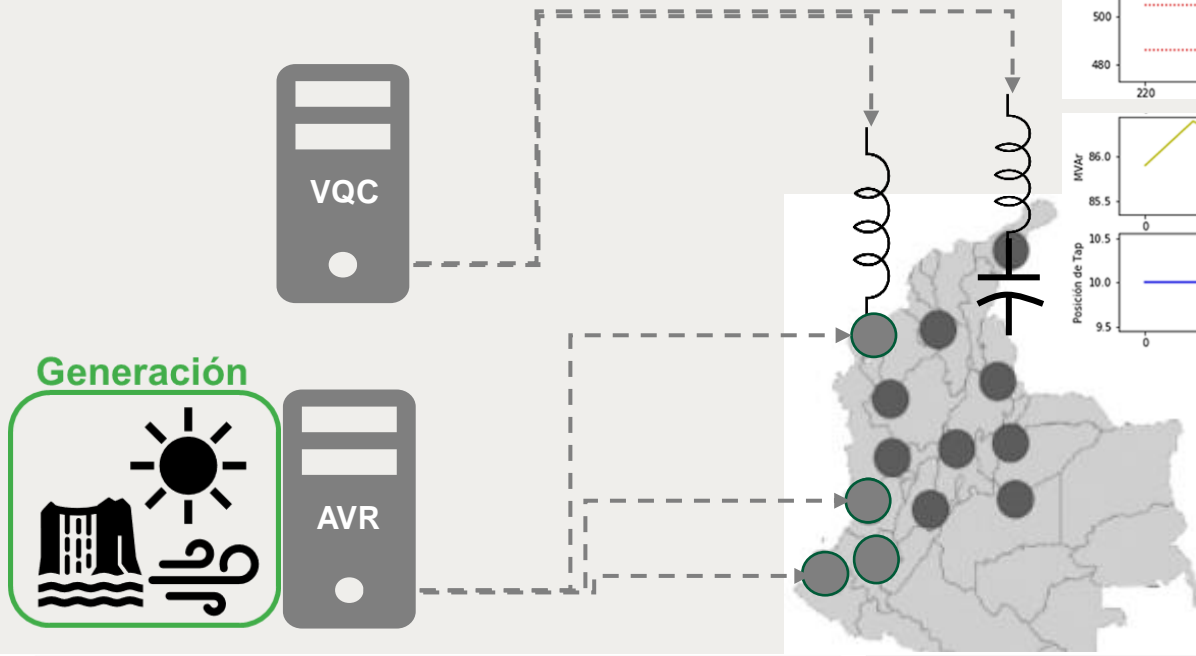
Meza, Victor y Perez, Brian, "A Machine Learning based Tool for AGC Performance Evaluation", FISE 2019



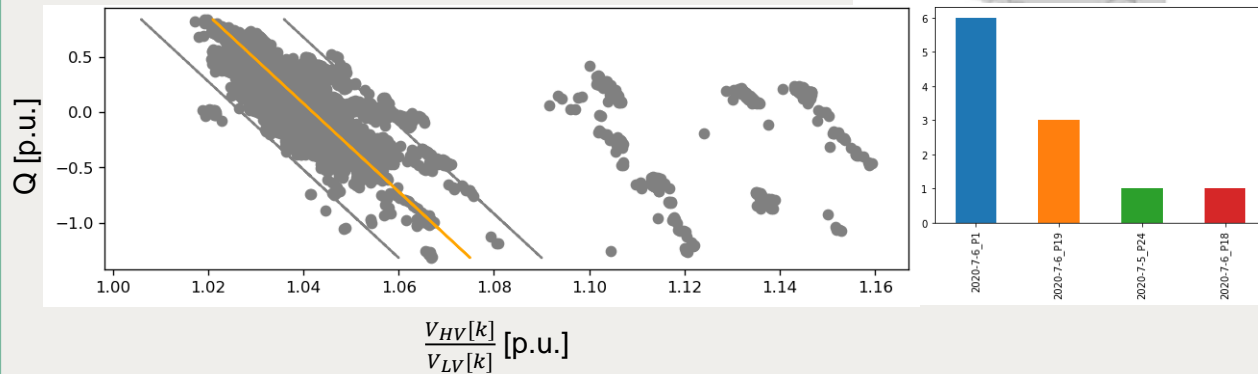
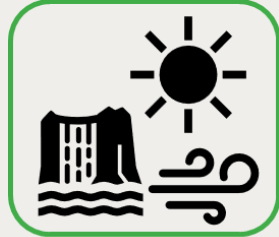
Meza, Victor y Durán, Juan, "A Data-driven Tool for Primary Frequency Regulation Evaluation", CIGRÉ Session 2018

# Evaluación de Desempeño: Datos SCADA

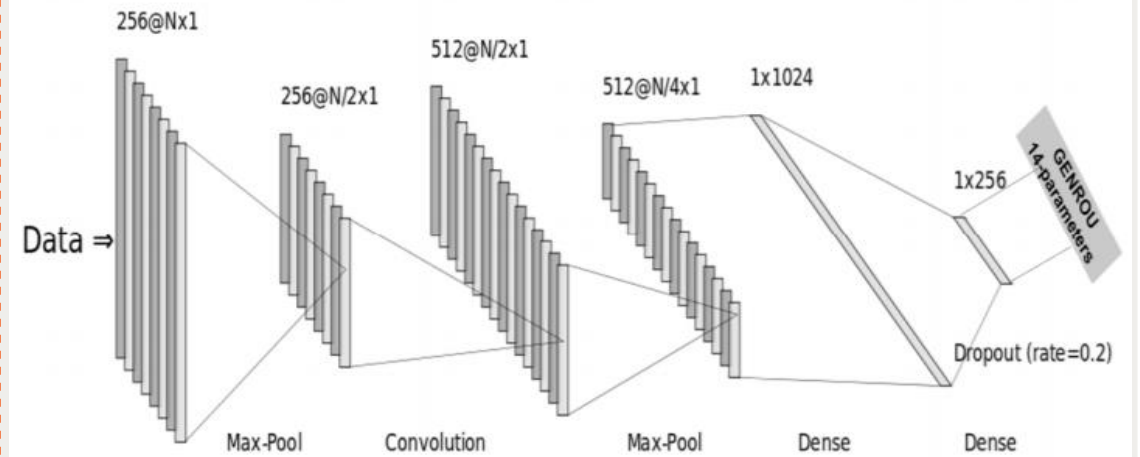
## Controles de Tensión



### Generación



## Calibración de parámetros de un modelo



Tomado de <https://scholarworks.uvm.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=2249&context=graddis>

# Proyectos y Preocupaciones



**cigre**

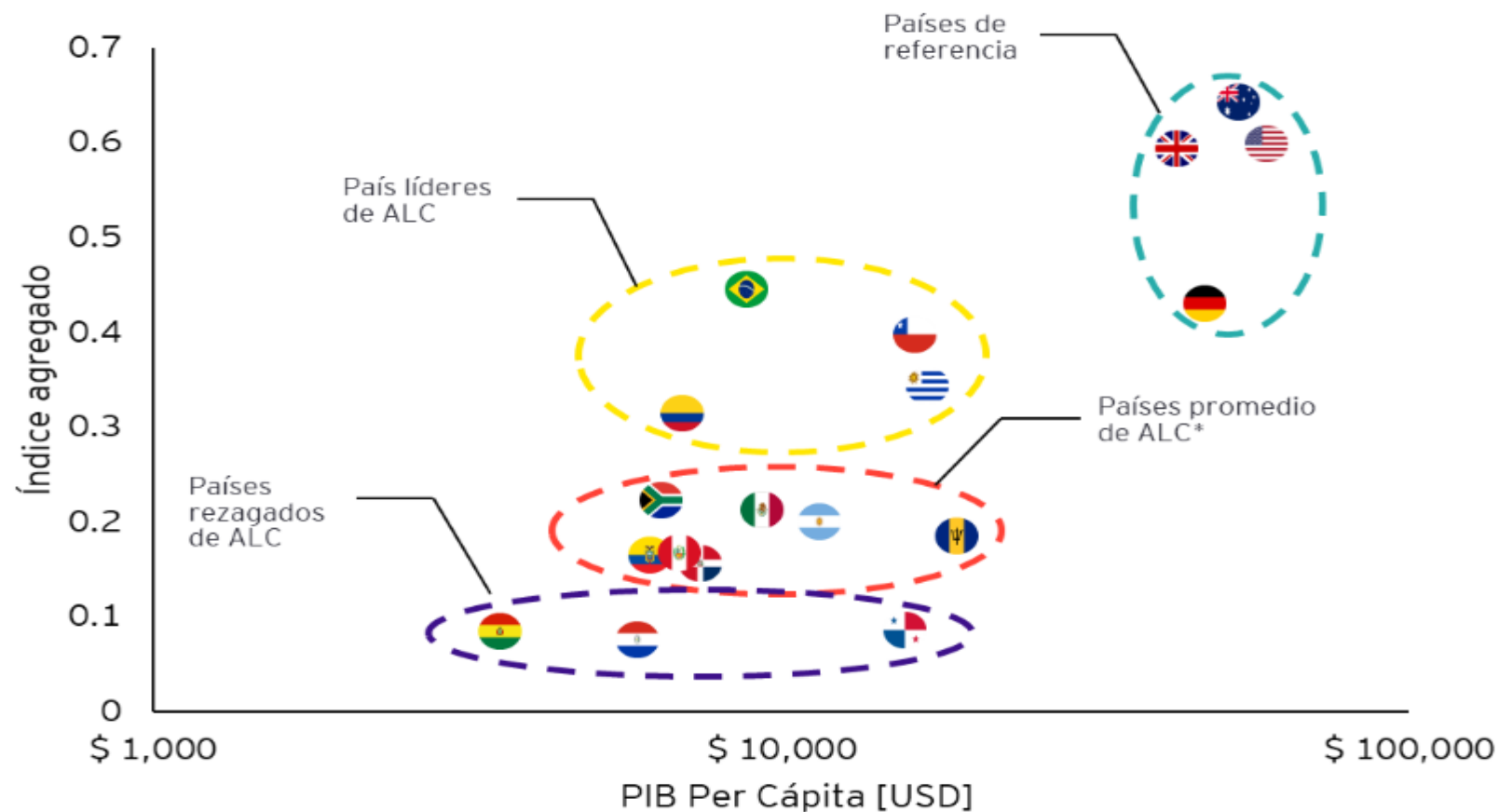
For power system expertise

# Proyectos



## Latinoamérica y el caribe

Objetivo	Solución
Mejora de pronósticos de recursos eólicos (Brasil)	IA de Windfor
Mejora de pronóstico de recursos fotovoltaicos (Chile)	IA de Suncast/ABB
Pronósticos de la demanda y estadística de cargabilidades de CENACE (Ecuador)	Minería de datos e IA
Consultoría de UTE para Big Data en redes inteligentes (Uruguay)	Big data



\*Los países promedio de ALC incluyen Sudáfrica

Source: EY Power and utilities innovation lab

# Retos, desafíos y preocupaciones

Proyecto Energética 2030



## Industria/Academia:

- *Re y Upskilling*
- *Innovación*
- *Estándares*
- *Interoperabilidad*



Centrado en el humano



Habilidades blandas



Iniciativas intergremiales, Intersectoriales, Interinstitucionales



Cambio generacional: Coexistencia legados y modernos



## Privacidad y ética:

- *Seguridad*
- *Políticas*
- *Sin sesgos*
- *Diversidad*



Protección al individuo



Tratamiento de los datos



Porcentajes de participación



Toma de decisiones ética: Justicia, equidad, inclusión



## Acceso:

- *Software libre*
- *Datos abiertos*
- *Nube*



Democratización de la tecnología: Soluciones descentralizadas y/o de bajo costo



Intercambio de datos para integración regional/soberanía



Adaptar o crear: Del mundo a Colombia



# Agradecimientos



Proyecto “Estrategia de transformación del sector eléctrico colombiano en el horizonte de 2030” patrocinado por Colciencias Ecosistema Científico, convocatoria 778, Contrato FP448422-210-2018.



Igualmente, a XM S.A. E.S.P. por todo el material relacionado proyectos y a la operación Sistema Interconectado Nacional.



A Cigré Colombia por el espacio de divulgación de conocimiento y desarrollos en el campo de la operación (comité C2).

# ¡Gracias!

*“Me interesa el futuro porque es el sitio donde voy a pasar el resto de mi vida”*

*Woody Allen*





**cigre**

For power system expertise

