

All rights reserved.

# Foundations for Predictive Architecture

---

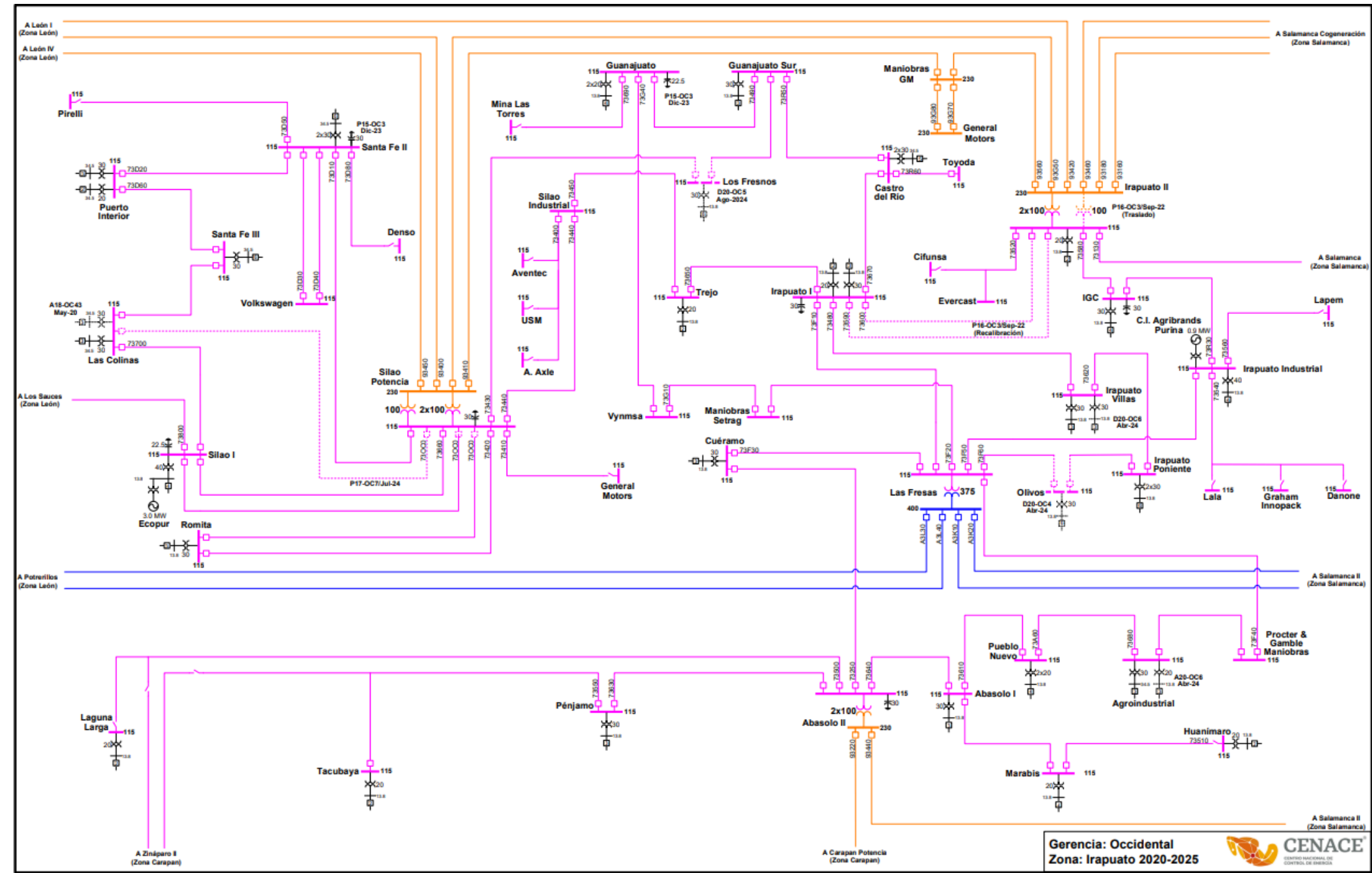
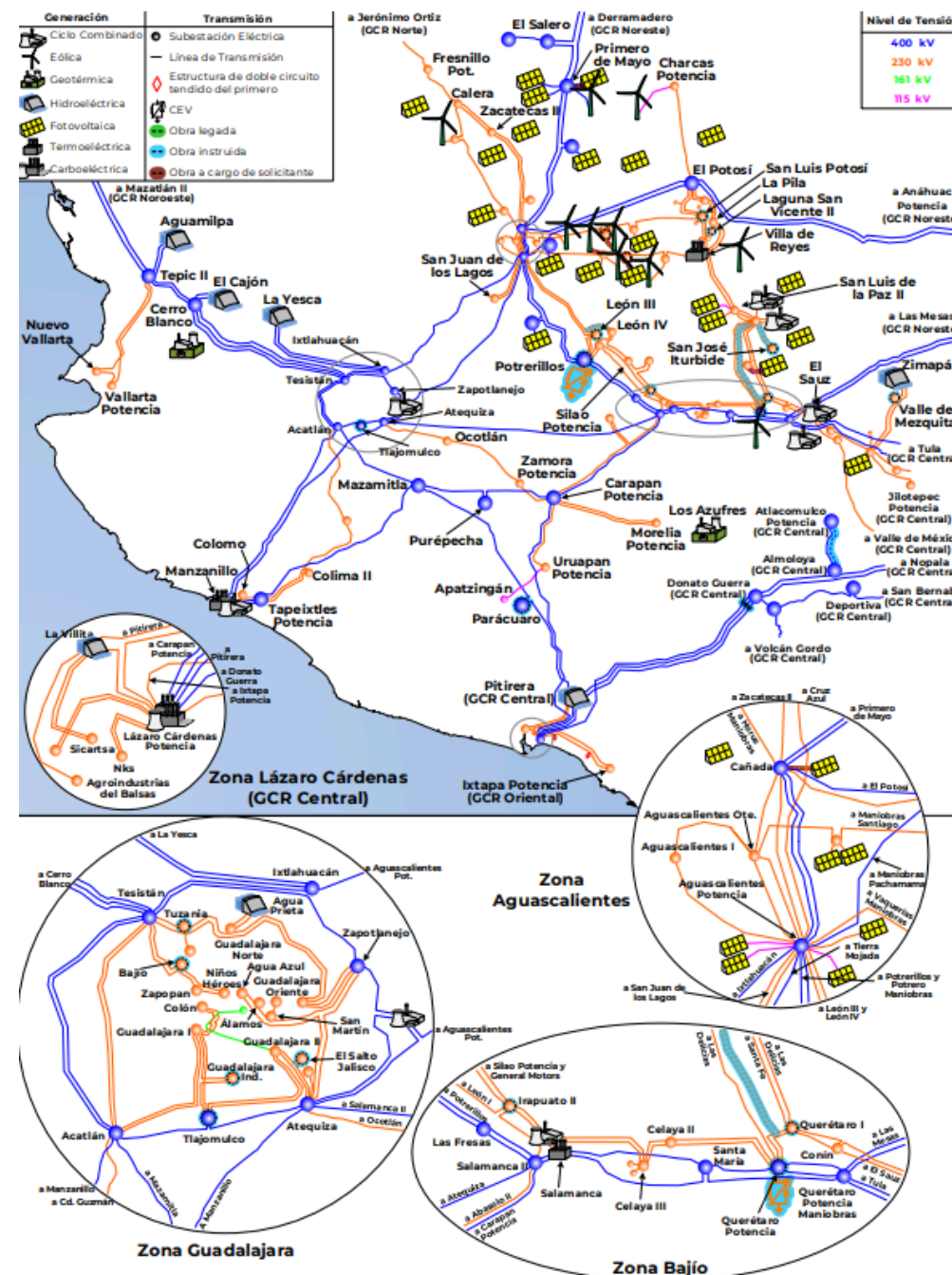
Advanced Trading and Mathematical Optimization Algorithms  
for Energy Markets

29.10.2025 Guanajuato, México.

# Interconexión

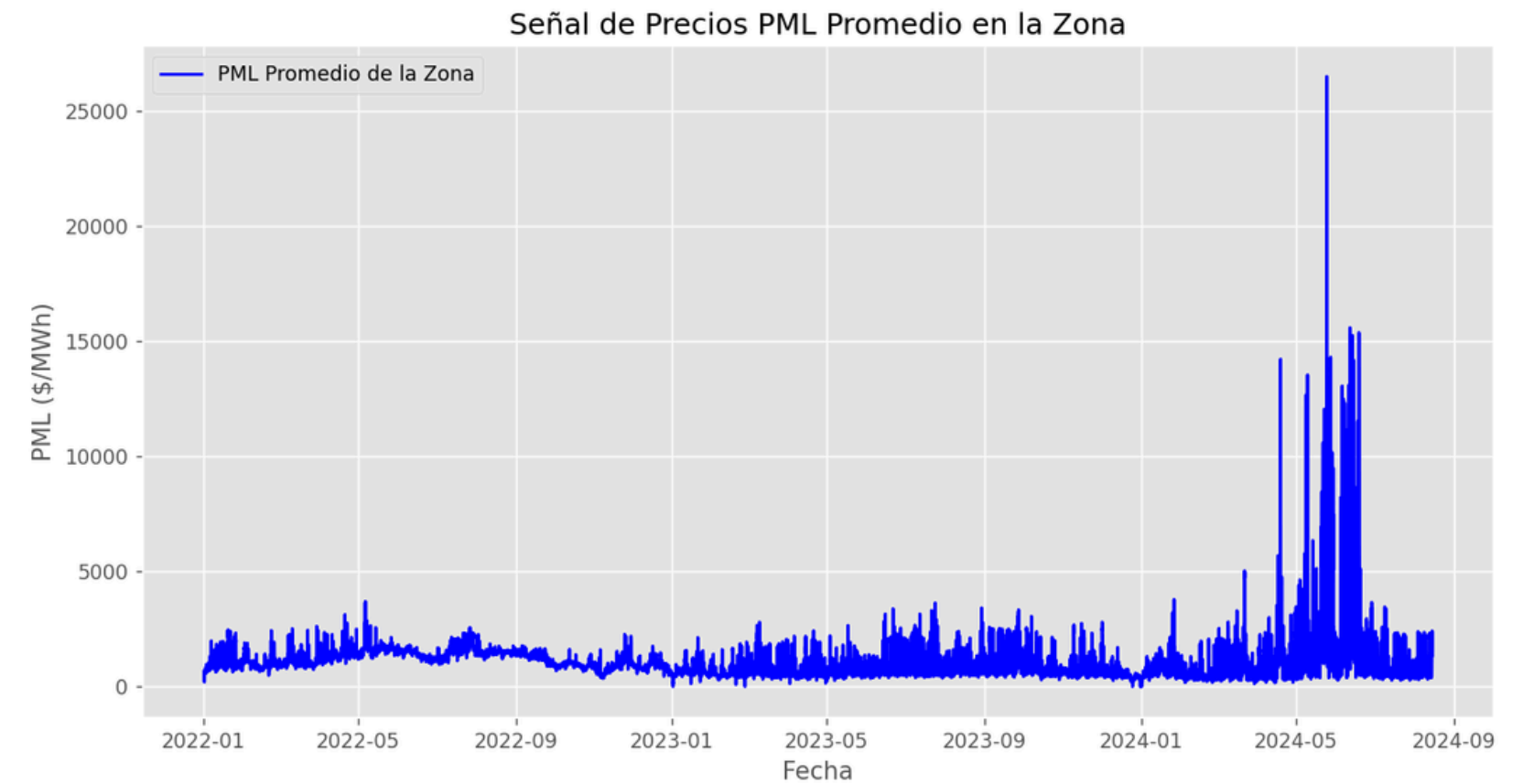
Modelación preliminar con buses ubicados geográfica y eléctricamente de 115kV como base.

Solicitud de detalles de interconexión para los activos.



# Señales de Precios Marginales Locales

nodo	mean	std	min	max	variacion	pico_positivo	pico_negativo
NodeCode1	1177.597	1003.317	0	27636.07	27636.07	2472.982	399.4605
NodeCode2	1178.282	1002.828	0	27582.47	27582.47	2475.308	399.43
NodeCode3	1012.334	875.901	0	25818.7	25818.7	2048.688	338.951
NodeCode4	1019.798	885.1435	0	26099.6	26099.6	2064.833	341.1705
NodeCode5	999.6821	872.6168	0	25945.03	25945.03	2020.922	336.341
NodeCode6	1026.16	891.4945	0	26283.1	26283.1	2078.39	342.5315
NodeCode7	1017.351	889.6478	-561.19	26129	26690.19	2062.545	333.1815



Insight de variaciones por nodo:

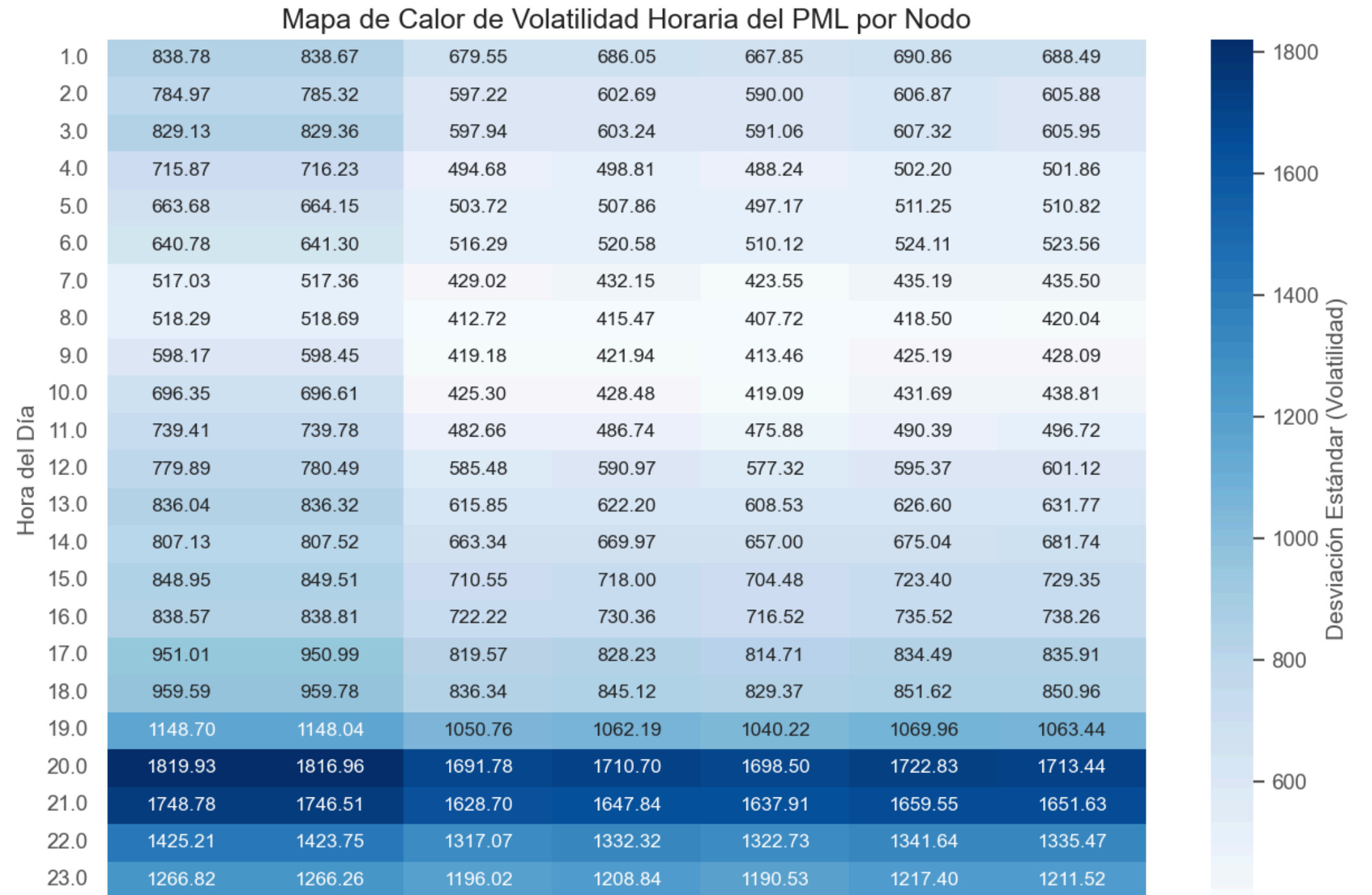
```

Nodo 02CCL-69: Precio medio = 1177.60, Variación = 27636.07, Picos (95% y 5%): 2472.98, 399.46
Nodo 02TOE-115: Precio medio = 1178.28, Variación = 27582.47, Picos (95% y 5%): 2475.31, 399.43
Nodo 03IRA-115: Precio medio = 1012.33, Variación = 25818.70, Picos (95% y 5%): 2048.69, 338.95
Nodo 03IRP-115: Precio medio = 1019.80, Variación = 26099.60, Picos (95% y 5%): 2064.83, 341.17
Nodo 03MAL-115: Precio medio = 999.68, Variación = 25945.03, Picos (95% y 5%): 2020.92, 336.34
Nodo 03MTK-115: Precio medio = 1026.16, Variación = 26283.10, Picos (95% y 5%): 2078.39, 342.53
Nodo 03T00-115: Precio medio = 1017.35, Variación = 26690.19, Picos (95% y 5%): 2062.54, 333.18
    
```

# Análisis de Volatilidad

Patrones Diurnos

Zonas Críticas y Sensibles



# Objetivo

Desarrollo de modelos predictivos y de optimización para los activos energéticos.

Se establecieron dos capas técnicas: Machine Learning (ML) y optimización matemática.

Previamente en Fase 1: Se realizó el análisis de estado de activos, se desarrollaron scripts para consulta de información de mercado y se analizaron estadísticamente los nodos.

**ML: predecir**

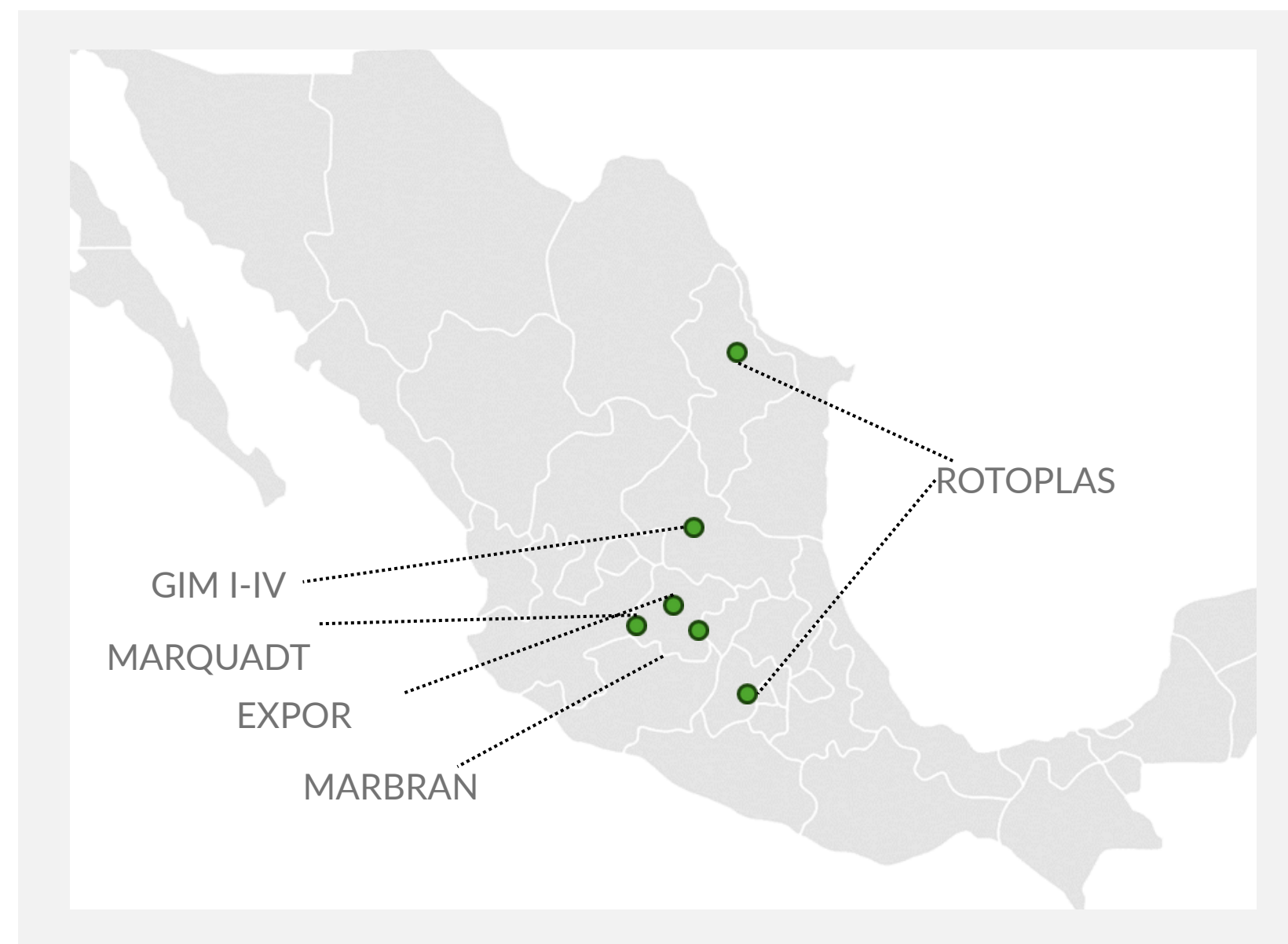
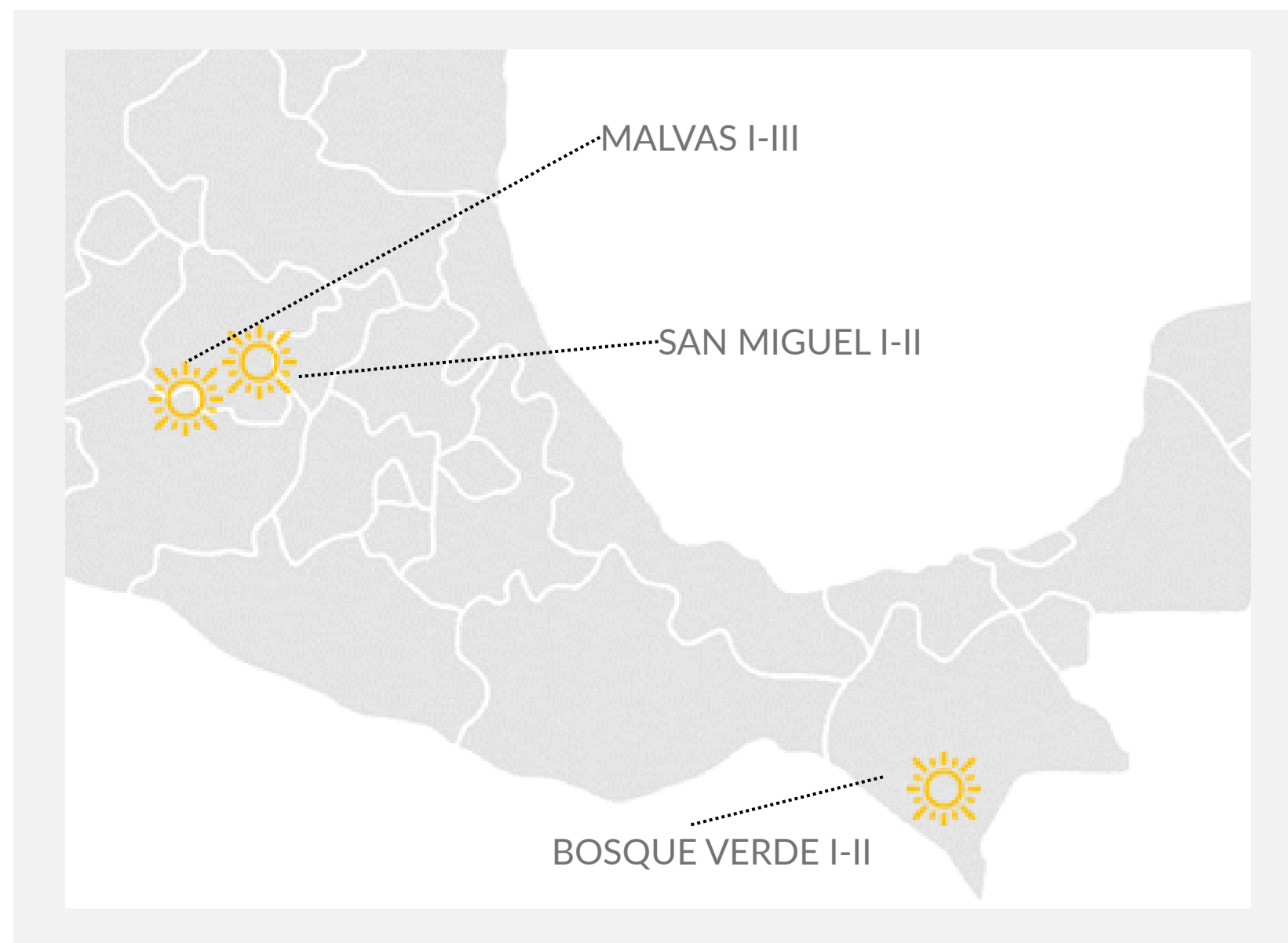
**Optimización: ajustar →**

$$P_{i,s,t,\min}^L \leq P_{i,s,t}^L \leq P_{i,s,t,\max}^L, \forall s, t.$$
$$\arg \min_{\mathbf{x}} -r^A + \sum_i \pi_i^{ES} + \sum_i (c_i^U - \pi_i^{ES}) = -r^A + \sum_{i \in \Phi^U} c_i^U$$

El modelo de optimización busca verse como algo así.

# Enfoque de Aplicación

## Activos



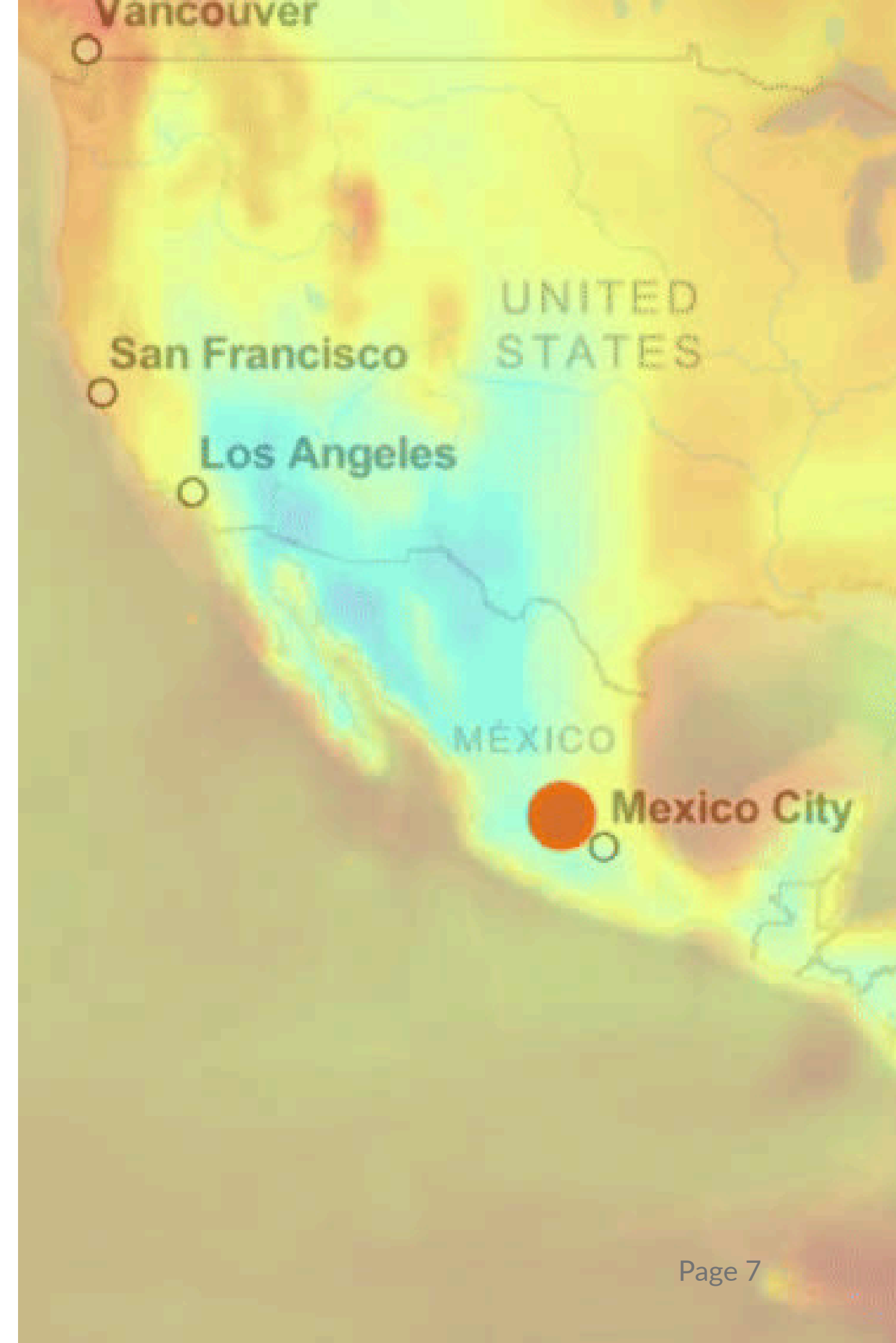
# 1. Variables Meteorológicas

## Highlights

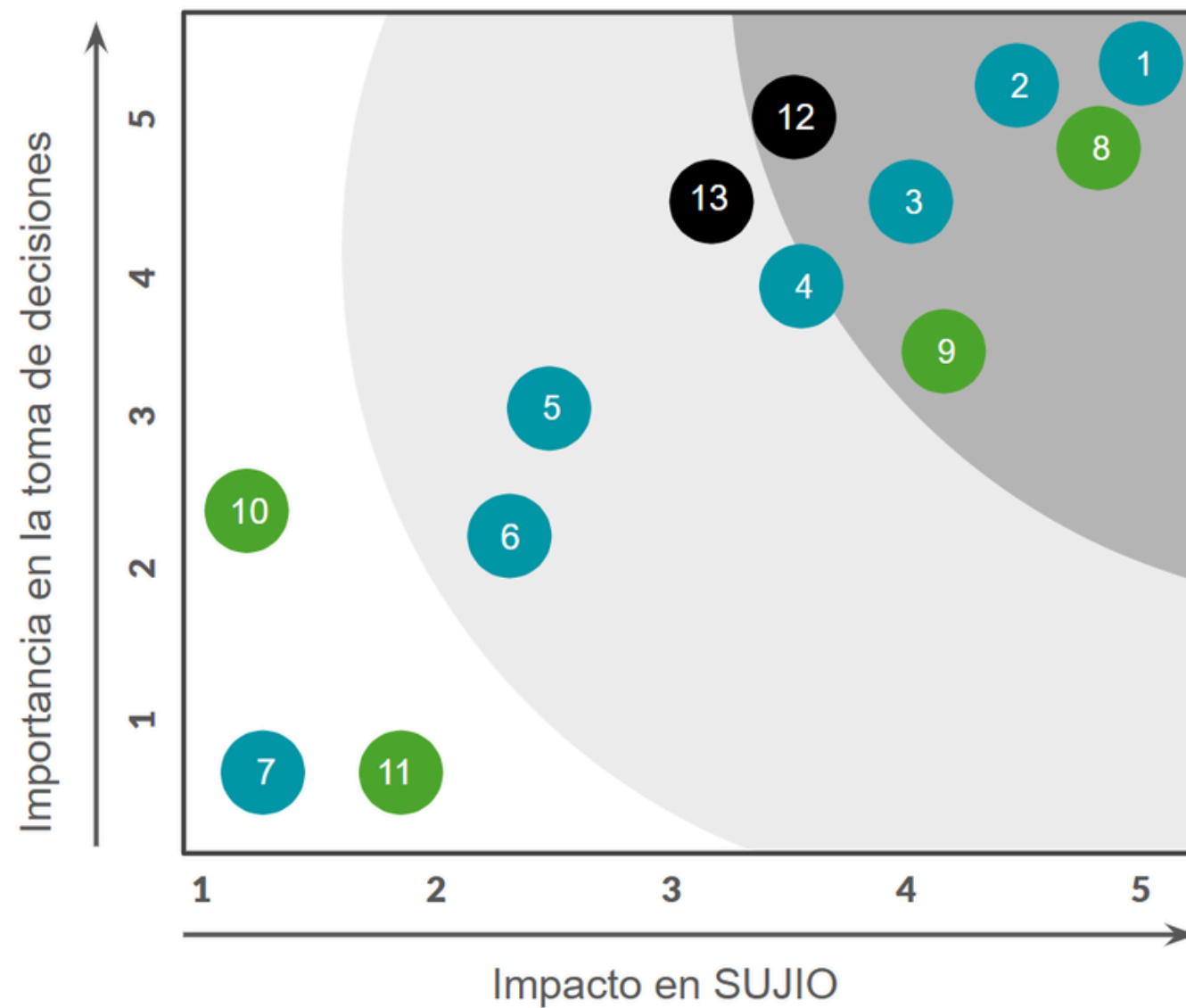
- Histórico de variables para coordenadas de activos de Generación y Suministro.
- Matriz de monitoreo.
- Identificación de generación externa zonal.

## Decisiones

- Consultas masivas en NASA Power (Open Source)
- Automatización con METEOBLUE License.



# Variables Meteorológicas



- 1. ALLSKY\_SFC\_SW\_DWN: Radiación solar.
- 2. CLOUD\_AMT: Nubosidad.
- 3. CLOUD\_OPACITY: Opacidad de nubes
- 4. CLOUD\_AMT: Cobertura nubosa
- 5. ALLSKY\_SFC\_AOD: Aerosoles
- 6. ALLSKY\_SFC\_PAR: Radiación fotosintética
- 7. ALLSKY\_SFC\_DIFFUSE: Radiación difusa
- 8. T2M: Temperatura
- 9. RH2M: Humedad.
- 10. ALLSKY\_SFC\_SW\_DWN: Radiación solar
- 11. PRECOT: Precipitación
- 12. WS10M: Velocidad del viento
- 13. WD10M: Dirección del viento

Equivalencias de nomenclatura con Meteoblue disponibles.

# 2. Base de Mercado Sólida

## Highlights

- Identificación de nodos mas influyentes en el precio de liquidación.
- Bases de datos por zona de carga - comportamientos de mercado

## Decisiones

- Creación de servidor MySQL
- Expansión de análisis a nodos directamente modelados.



[\(Consulta de Análisis del Catálogo de Nodos aquí\).](#)

(Github → python scripts tracking).

## i.e. Raw Data para Zona de Carga Irapuato.csv (idea de dimensionamiento)

Para análisis de fácil acceso: formato cvs,

Para alto procesamiento: servidor mySQL y Python

### Una base de 'raw data'

considera:

- Nodo de Liquidación D,
- Nodo P Generación,
- Nodo P Suminitro,
- Nodos *Directamnete* modelados de Generación,
- Nodos *Directamente* modelados de Carga,
- Nodos con Generación o Cargas relevantes conectadas.

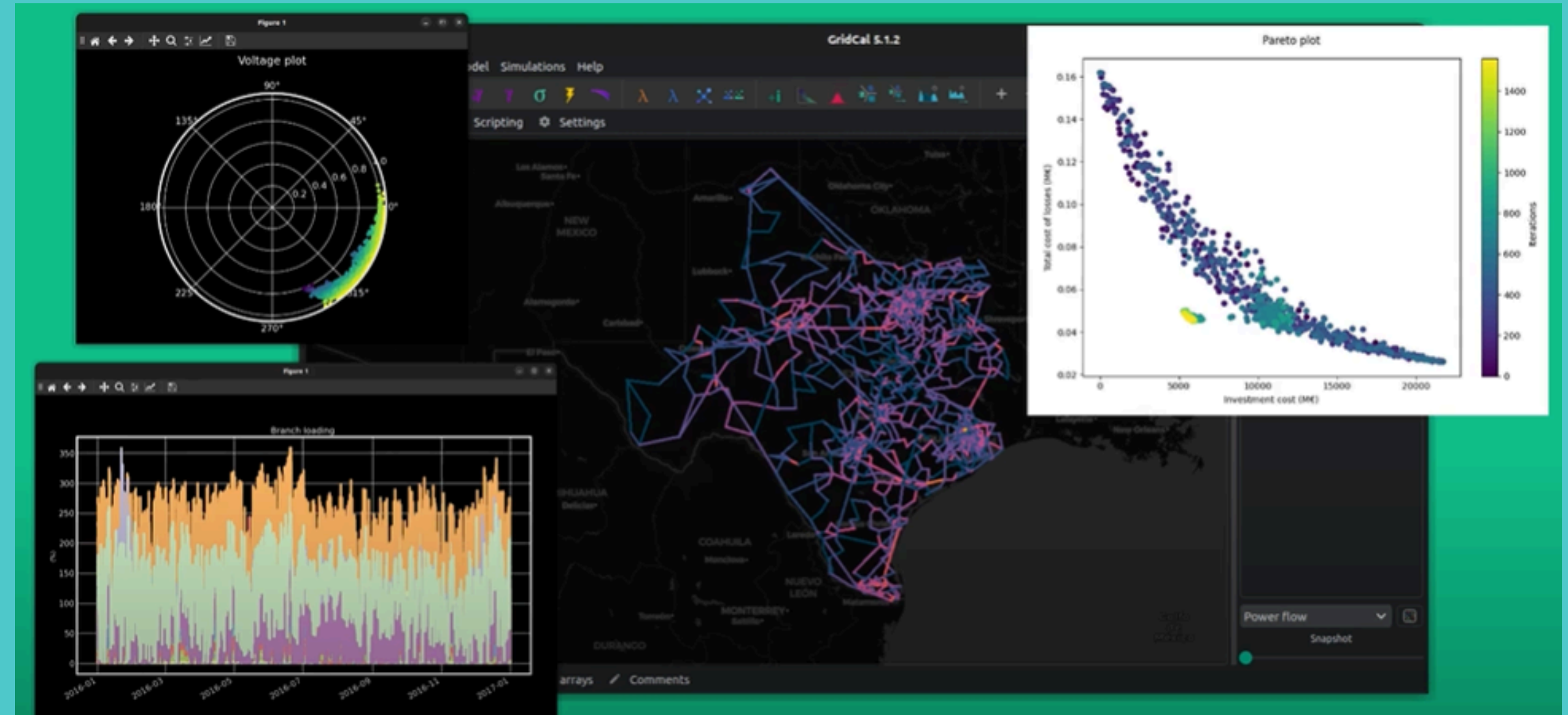
		Nodo D de Liquidacion IRAPUATO						GEN NODO PIRA115						SUMNODO PIPP115												
		MDA		MTR				MDA		MTR				MDA		MTR										
fecha	hora	pz_MDA	pz_ene_MC	pz_cng_MC	pz_per_MC	pz_MTR	pz_ene_MT	pz_cng_MT	pz_per_MT	pz_GEN_D	ene_GEN	cng_GEN	per_GEN	pz_GEN_D	ene_GEN	cng_GEN	per_GEN	[pz_SUM1	ene_SUM1	cng_SUM1	per_SUM1	pz_SUM1	ene_SUM1	cng_SUM1	per_SUM1	
1	1/1/2021	1	462.42	462.15	0	0.27	477.92	473.74	0	4.18	462.42	462.15	0	0.27	471.94	473.74	0	-1.8	458.95	462.15	0	-3.2	473.9	473.74	0	0.1
2	1/1/2021	2	446.47	446.51	0	-0.04	476.56	473.24	0	3.32	446.47	446.51	0	-0.04	470.84	473.24	0	-2.41	443.22	446.51	0	-3.29	472.69	473.24	0	-0.5
3	1/1/2021	3	429.86	430.14	0	-0.29	472.94	470.52	0	2.42	429.86	430.14	0	-0.29	467.57	470.52	0	-2.95	426.84	430.14	0	-3.31	469.18	470.52	0	-1.3
4	1/1/2021	4	409.55	410.12	0	-0.57	467.9	465.2	0	2.7	409.55	410.12	0	-0.57	462.61	465.2	0	-2.59	406.82	410.12	0	-3.29	464.15	465.2	0	-1.0
5	1/1/2021	5	398.84	399.24	0	-0.4	457.59	455.08	0	2.51	398.84	399.24	0	-0.4	452.47	455.08	0	-2.61	396.26	399.24	0	-2.99	453.97	455.08	0	-1.1
6	1/1/2021	6	393.23	393.75	0	-0.52	446.45	443.96	0	2.49	393.23	393.75	0	-0.52	441.38	443.96	0	-2.58	390.71	393.75	0	-3.05	442.84	443.96	0	-1.1
7	1/1/2021	7	393.86	393.96	0	-0.1	447.28	444.69	0	2.59	393.86	393.96	0	-0.1	442.18	444.69	0	-2.51	391.35	393.96	0	-2.61	443.71	444.69	0	-0.9
8	1/1/2021	8	372.22	371.52	0	0.7	432.01	429.44	0	2.57	372.22	371.52	0	0.7	427.06	429.44	0	-2.38	369.93	371.52	0	-1.59	428.57	429.44	0	-0.8
9	1/1/2021	9	349.32	350.33	0	-1.01	414.16	412.41	0	1.75	349.32	350.33	0	-1.01	409.4	412.41	0	-3.01	347.14	350.33	0	-3.19	410.81	412.41	0	-1.1
10	1/1/2021	10	0	0	0	0	404.87	404.07	0	0.8	0	0	0	0	400.22	404.07	0	-3.85	0	0	0	0	401.45	404.07	0	-2.6
11	1/1/2021	11	0	0	0	0	404.77	404.8	0	-0.02	0	0	0	0	400.14	404.8	0	-4.66	0	0	0	0	401.39	404.8	0	-3.1
12	1/1/2021	12	0	0	0	0	403.49	403.9	0	-0.4	0	0	0	0	398.78	403.9	0	-5.12	0	0	0	0	400.07	403.9	0	-3.8
13	1/1/2021	13	0	0	0	0	404.99	405.52	0	-0.52	0	0	0	0	400.45	405.52	0	-5.07	0	0	0	0	401.74	405.52	0	-3.7
14	1/1/2021	14	0	0	0	0	407.12	407.42	0	-0.3	0	0	0	0	402.37	407.42	0	-5.05	0	0	0	0	403.68	407.42	0	-3.7
15	1/1/2021	15	2.12	2.15	0	-0.03	408.08	408.31	0	-0.24	2.12	2.15	0	-0.03	403.37	408.31	0	-4.95	2.11	2.15	0	-0.04	404.64	408.31	0	-3.6
16	1/1/2021	16	182.39	185.23	0	-2.83	408.92	408.44	0	0.48	182.39	185.23	0	-2.83	404.38	408.44	0	-4.06	181.23	185.23	0	-4	405.54	408.44	0	-2.9
17	1/1/2021	17	367.57	370.7	0	-3.13	423.75	422.12	0	1.63	367.57	370.7	0	-3.13	419.04	422.12	0	-3.08	365.21	370.7	0	-5.49	420.4	422.12	0	-1.7
18	1/1/2021	18	423.67	425.51	0	-1.85	486.68	484.24	0	2.45	423.67	425.51	0	-1.85	481.33	484.24	0	-2.91	420.9	425.51	0	-4.61	482.89	484.24	0	-1.3
19	1/1/2021	19	521.42	523.3	0	-1.88	561.82	556.22	0	5.6	521.42	523.3	0	-1.88	554.9	556.22	0	-1.32	517.6	523.3	0	-5.71	557.22	556.22	0	0
20	1/1/2021	20	558.67	552.22	-0.03	6.48	606.46	578.66	21.16	6.64	558.67	552.22	-0.03	6.48	596.17	578.66	18.7	-1.19	553.79	552.22	-0.03	1.6	599.19	578.66	19.2	1.3
21	1/1/2021	21	537	533.53	0	3.46	584.14	561.43	16.4	6.32	537	533.53	0	3.46	574.81	561.43	14.51	-1.12	532.3	533.53	0	-1.24	577.62	561.43	14.91	1.2
22	1/1/2021	22	535.44	532.65	0	2.79	571.75	549.25	16.54	5.96	535.44	532.65	0	2.79	562.75	549.25	14.66	-1.16	530.85	532.65	0	-1.8	565.38	549.25	15.06	1.0
23	1/1/2021	23	521.57	523.57	0	-2.01	518.21	504	9.34	4.86	521.57	523.57	0	-2.01	510.94	504	8.28	-1.34	517.6	523.57	0	-5.97	513.08	504	8.51	0.5
24	1/1/2021	24	453.34	449.73	0	3.62	489.48	477.27	8.15	4.06	453.34	449.73	0	3.62	482.88	477.27	7.21	-1.6	449.86	449.73	0	0.14	484.58	477.27	7.41	-0.1
25	1/2/2021	1	433.56	430.15	0	3.42	450.13	447.11	0	3.01	433.56	430.15	0	3.42	445.11	447.11	0	-2	429.83	430.15	0	-0.32	446.48	447.11	0	-0.6
26	1/2/2021	2	433.92	430.26	0	3.65	456.6	453.54	0	3.06	433.92	430.26	0	3.65	451.65	453.54	0	-1.88	430.44	430.26	0	0.18	452.99	453.54	0	-0.5
27	1/2/2021	3	424.83	421.15	0	3.67	451.88	448.63	0	3.25	424.83	421.15	0	3.67	447.09	448.63	0	-1.55	421.42	421.15	0	0.27	448.43	448.63	0	-0.2
28	1/2/2021	4	418.28	414.71	0	3.56	436.92	433.39	0	3.54	418.28	414.71	0	3.56	432.25	433.39	0	-1.14	414.94	414.71	0	0.23	433.58	433.39	0	0.1
29	1/2/2021	5	418.25	414.42	0	3.83	430.97	426.4	0	4.57	418.25	414.42	0	3.83	426.23	426.4	0	-0.17	414.86	414.42	0	0.44	427.59	426.4	0	1.1
30	1/2/2021	6	427.71	423.56	0	4.15	436.19	431.29	0	4.9	427.71	423.56	0	4.15	431.27	431.29	0	-0.01	424.09	423.56	0	0.53	432.71	431.29	0	1.4
31	1/2/2021	7	437.26	432.52	0	4.74	455.23	449.31	0	5.91	437.26	432.52	0	4.74	449.72	449.31	0	0.41	433.32	432.52	0	0.8	451.31	449.31	0	0
32	1/2/2021	8	442.68	437.43	0	5.25	458.9	451.75	0	7.15	442.68	437.43	0	5.25	453.01	451.75	0	1.26	438.45	437.43	0	1.02	454.69	451.75	0	2.9
33	1/2/2021	9	438	433.09	0	4.91	455.91	449.07	0	6.84	438	433.09	0	4.91	449.62	449.07	0	0.54	433.39	433.09	0	0.3	451.37	449.07	0	2.1
34	1/2/2021	10	430.27	427.11	0	3.16	437.76	432.74	0	5.02	430.27	427.11	0	3.16	431.81	432.74	0	-0.93	425.21	427.11	0	-1.9	433.28	432.74	0	0.5
35	1/2/2021	11	438.36	435.42	0	2.94	439.3	433.45	0	5.85	438.36	435.42	0	2.94	433.03	433.45	0	-0.42	433.17	435.42	0	-2.25	434.74	433.45	0	1.2
36	1/2/2021	12	461.77	458.56	0	3.21	444.16	439.04	0	5.12	461.77	458.56	0	3.21	437.68	439.04	0	-1.37	456.22	458.56	0	-2.35	439.27	439.04	0	0.2
37	1/2/2021	13	463.48	460	0	3.47	456.4	451.26	0	5.14	463.48	460	0	3.47	449.7	451.26	0	-1.55	457.97	460	0	-2.03	451.3	451.26	0	0.0
38	1/2/2021	14	462.94	459.4	0	3.54	447.16	442.89	0	4.27	462.94	459.4	0	3.54	440.73	442.89	0	-2.16	457.47	459.4	0	-1.93	442.16	442.89	0	-0.7
39	1/2/2021	15	462.8	459.34	0	3.46	442.19	438.1	0	4.09	462.8	459.34	0	3.46	435.89	438.1	0	-2.22	457.34	459.34	0	-2	437.23	438.1	0	-0.8
40	1/2/2021	16	453.61	450.07	0	3.54	445.9	440.93	0	4.97	453.61	450.07	0	3.54	439.46	440.93	0	-1.47	448.3	450.07	0	-1.76	440.9	440.93	0	-0.0
41	1/2/2021	17	447.59	443.71	0	3.88	457.08	451.76	0	5.32	447.59	443.71	0	3.88	450.62	451.76	0	-1.14	442.55	443.71	0	-1.16	452.15	451.76	0	0.3
42	1/2/2021	18	522.79	515.78	0	7.02	504.32	494.64	0	9.69	522.79	515.78	0	7.02	497.15	494.64	0	2.51	517.22	515.78	0	1.44	499.14	494.64	0	4.1
43	1/2/2021	19	577.71	568.12	0	9.6	570.1	556.37	0	13.73	577.71	568.12	0	9.6	561.42	556.37	0	5.05	571.52	568.12	0	3.4	564.15	556.37	0	7.7
44	1/2/2021	20	620.92	610.45	0	10.47	570.56	556.13	0	14.43	620.92	610.45	0	10.47	561.2	556.13	0	5.07	613.88	610.45	0	3.43	564.2	556.13	0	8.0
45	1/2/2021	21	574.84	564.83	0	10.01	560.91	547.88	0	13.03	574.84	564.83	0	10.01	551.91	547.88	0	4.03	568.35	564.83	0	3.52	554.72	547.88	0	6.8
46	1/2/2021	22	567.38	555.93	0	11.45	556.44	544.6	0	11.85	567.38	555.93	0	11.45	547.92	544.6	0	3.32	561.21	555.93	0	5.28	550.51	544.6	0	5.9
47	1/2/2021	23	560.31	551.11	0	9.2	545.56	534.62	0	10.94	560.31	551.11	0	9.2	537.59	534.62	0	2.97	554.68	551.11	0					

# Flujos de Potencia

Sugerencia de incorporación para modelación de virtual grid para zona occidente (Bajío).

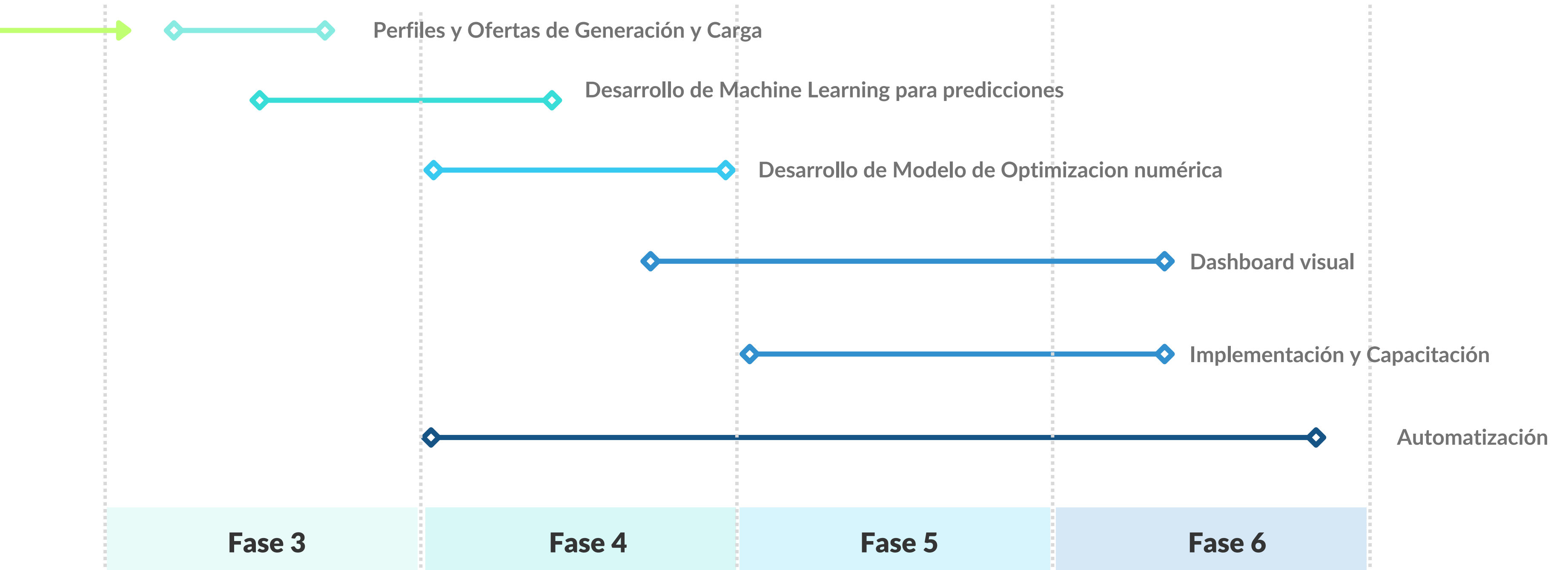
GRIDCAL es un software (Open Source) diseñado para modelar y analizar flujos de potencia en redes eléctricas.

- **ACDC power flow**
- **Investment analysis**
- **Optimal power flow**
- **Database**



[GridCal Video Presentation \(ver más aquí\)](#)

# Roadmap



## Fase 3, datasets para la toma de decisiones

# SCADA económico-operativo

Fase 1 definimos bases

Fase 2 aprendimos a mirar

Fase 3 conectamos señales

# Esfuerzos previos

## Fase 1

Exploración y Mapeo Nodal

Observación nodal y selección estratégica

Logros clave:

- Enfoque de activos: generación, suministro, zonas
- Clasificación de nodos (catálogo CENACE)
- Distancias eléctricas (diagramas unifilares)
- Scripts de descarga + entorno de programación
- Volatilidad nodal y sensibilidad zonal
- Señales estadísticas: estrés y precios por zona

## Fase 2

Integración de Variables Críticas

Conexión técnica entre datos operativos y exógenos

Logros clave:

- Variables meteorológicas clave definidas
- Bases robustas: nodos P y D (mercado)
- Scripts de limpieza y transformación
- Matriz horaria de monitoreo meteorológico
- Fuentes: NASA POWER + METEOBLUE
- Conexión con servidor MySQL
- Análisis de desviaciones horarias (nodos vs mercados)



# Fase 3

## Objetivo

Construir una capa lógica capaz de **recomendar acciones** operativas basadas en **múltiples señales SCADA** (mercado, clima, consumo, contratos y calendario). Esta fase traduce el monitoreo técnico en decisiones inteligentes para mejorar la oferta.

Periodo temporal: 2021-2024



## Entregables



### Datasets de 'raw data' consideran:

- Base de datos SCADA consolidada (precios, mediciones, clima, contratos, calendario)
- Lógica condicional para recomendación de oferta (reglas operativas)
- Índice horario de estrés (multi-variable)
- Ejercicios de ajuste humano con datos reales
- Diseño de arquitectura para red neuronal LSTM (fase futura)

<sup>1</sup> Documentación y soporte para conexión al servidor de MySQL y terminal python a su disponibilidad.

# Aquitectura de datos SCADA

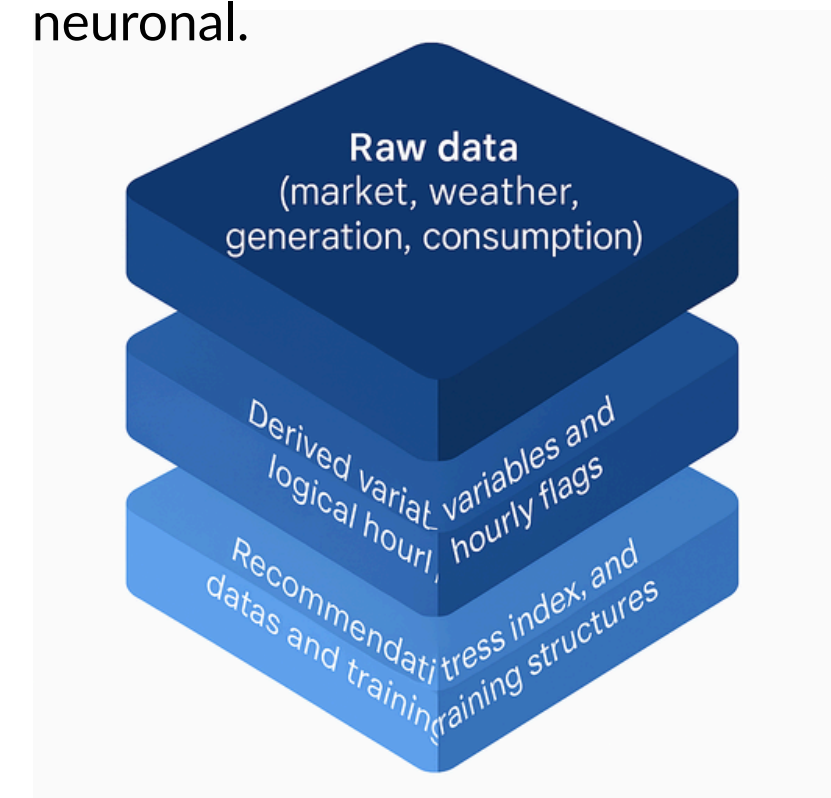
i.e. Zona de Carga Celaya (idea de visualizacion)

The screenshot shows a SQL query tool interface. The top toolbar includes icons for file operations, search, and execution. The main window displays a SQL query: `SELECT * FROM layers.gcel_4stressindex;`. Below the query is a "Result Grid" showing a table with 10 rows and 10 columns. The columns are: id, Month, Day, Year, Hour, Aux, Stress Index, criticalhour\_Calendario\_OperacionGEN, criticalhour\_Calendario\_Is\_Peak\_Tariff, and critic. The rows show data for January 1st, 2021, from 01:00 to 10:00. The "Stress Index" column shows values 0, 0, 0, 0, 0, 1, 1, 1, 1, 1. The "criticalhour\_Calendario\_Is\_Peak\_Tariff" column shows values 0, 0, 0, 0, 0, 1, 1, 0, 0, 0. The "critic" column shows values 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0.

Below the result grid is an "Output" section with an "Action Output" table. The table has columns for #, Time, Action, Message, and Duration / Fetch. The actions are: `SELECT * FROM layers.gcel_3mercado_deltamtda`, `SELECT * FROM layers.gcel_3mercado_deltapd`, `SELECT * FROM layers.gcel_4mercado_deltamtda_stats`, `SELECT * FROM layers.gcel_4mercado_deltapd_stats`, `SELECT * FROM layers.gcel_4meteo_stats`, and `SELECT * FROM layers.gcel_4stressindex`. The messages indicate the number of rows returned for each query. The durations are shown in seconds.

## Bases de datasets

- Capa 1: Raw data (mercado, clima, generacion, consumo)
- Capa 2: Variables derivadas y flags logicos horarios
- Capa 3: Recomendaciones, stress index y estructuras de entrenamiento para red neuronal.



# Lógica de decisión

Base: Teorema de Bayes (mas informacion matemática en anexos)

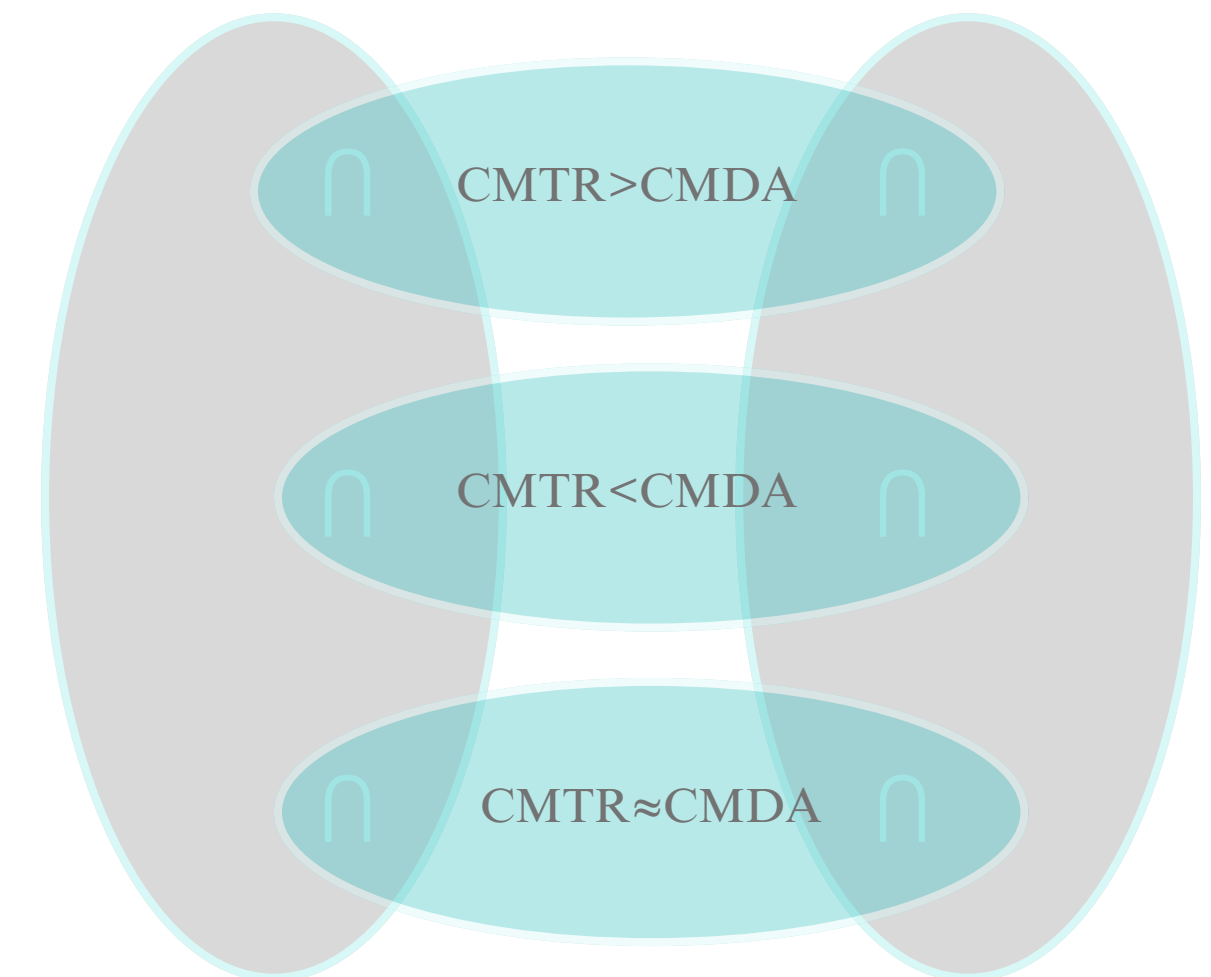
Condición	Recomendación
PMTR ↑ + producción ↑	Priorizar en MTR
MDA estable + irradiancia baja	Asegurar en MDA
Alta dispersión entre precios	Dividir oferta entre mercados

E = Estimación

$$P(A \cap B) = \overbrace{P(A|B)}^E P(B)$$

PMTR > PMDA

PMTR < PMDA



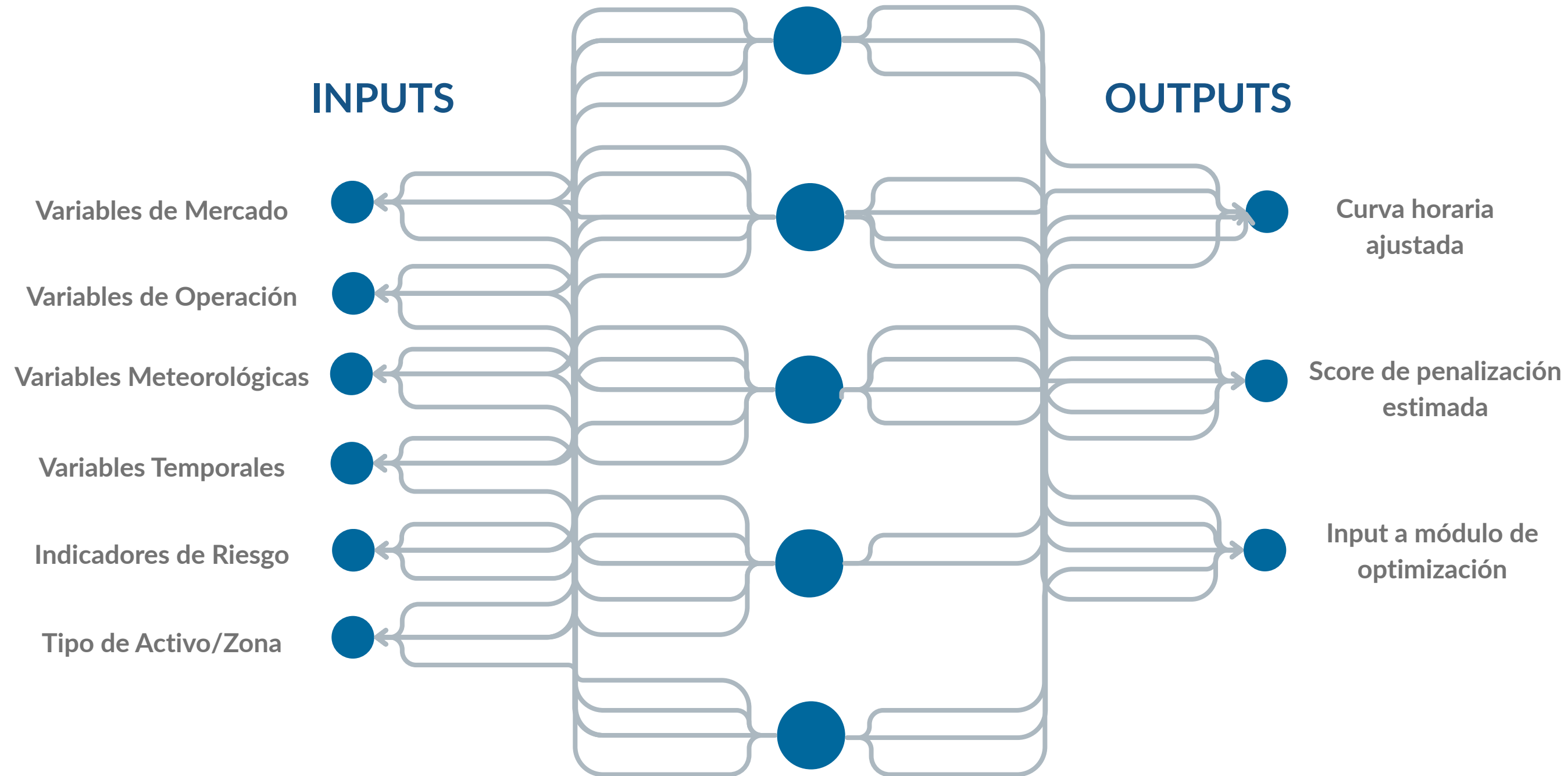
# Red Neuronal

Long Short Term Memory Structure (LSTM)

HIDDEN LAYERS

De la lógica humana a la predicción automática

SCADA



SCADA → LSTM → Optimizador → Oferta final

# Trabajo con Series Temporales (RAW)

- Ingesta de mediciones 5-min desde MongoDB
- Revisión de calidad y salud inicial del set
- Detección de huecos, duplicados, señales no físicas

RAW set → CLEAN set

Ejemplo de análisis de diagnóstico por activo:

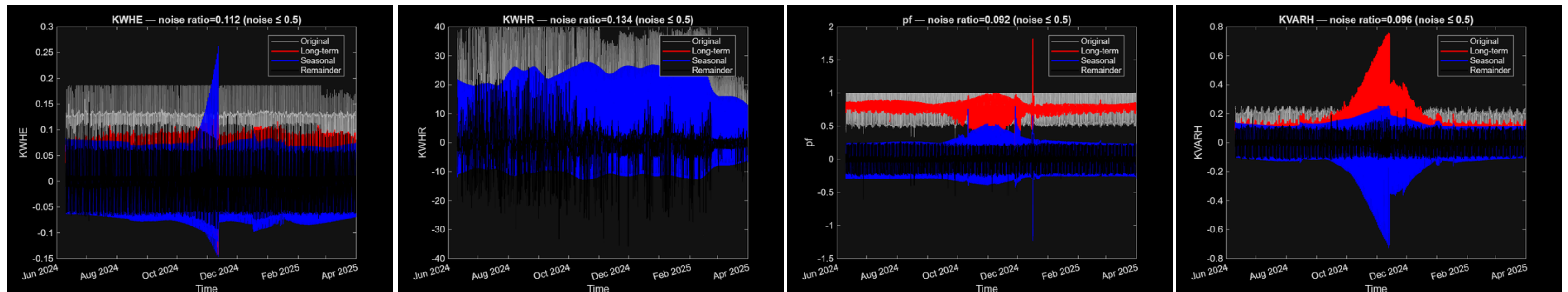
```
diagnostics > AXC0362FBV79_BosqueVerdeI_diagnosis.txt
1  === DIAGNÓSTICO PARA AXC0362FBV79_BosqueVerdeI ===
2
3  ---- GAPS ----
4  Gaps en RAW: 23
5  Gaps en CLEAN: 0
6
7  ---- OUTLIERS ----
8  KWHE:
9  p99.5_threshold: 0.075075
10 raw_outliers: 1347
11 remaining_after_clean: 0
12 removed: 1347
13
14 KWHR:
15 p99.5_threshold: 31.591302744999997
16 raw_outliers: 1350
17 remaining_after_clean: 1350
18 removed: 0
19
20 KVARH:
21 p99.5_threshold: 0.064565
22 raw_outliers: 1348
23 remaining_after_clean: 0
24 removed: 1348
25
```

```
diagnostics_analysis > 03SMUEX1AXC0363SMU79_SANMIGUEL_analysis.txt
1  === ANÁLISIS TÉCNICO DE 03SMUEX1AXC0363SMU79_SANMIGUEL ===
2
3  ---- STATUS GENERAL ----
4  Clasificación de salud: SALUDABLE
5
6  ---- GAPS ----
7  Número de gaps: 0
8  Interpretación: No hay pérdidas de comunicación; el medidor es estable.
9
10 ---- OUTLIERS ----
11 KWHE: threshold=0.1864, outliers=425
12 KWHR: threshold=39.7910, outliers=425
13 KVARH: threshold=0.2528, outliers=425
14 Total outliers: 1275
15 Porcentaje outliers: 0.0150
16 Interpretación: Outliers extremos: posible corrupción del registro KWHR/KWHE o resets.
17
18 ---- FACTOR DE POTENCIA ----
19 PF missing: 56 valores (0.0659%)
20 Interpretación: PF incompleto: mediciones irregulares del inversor o incompatibilidad del formato.
21
22 ---- RECOMENDACIÓN PARA ML ----
23 Lista para ML: Sí (modelo estable y predecible).
24
```

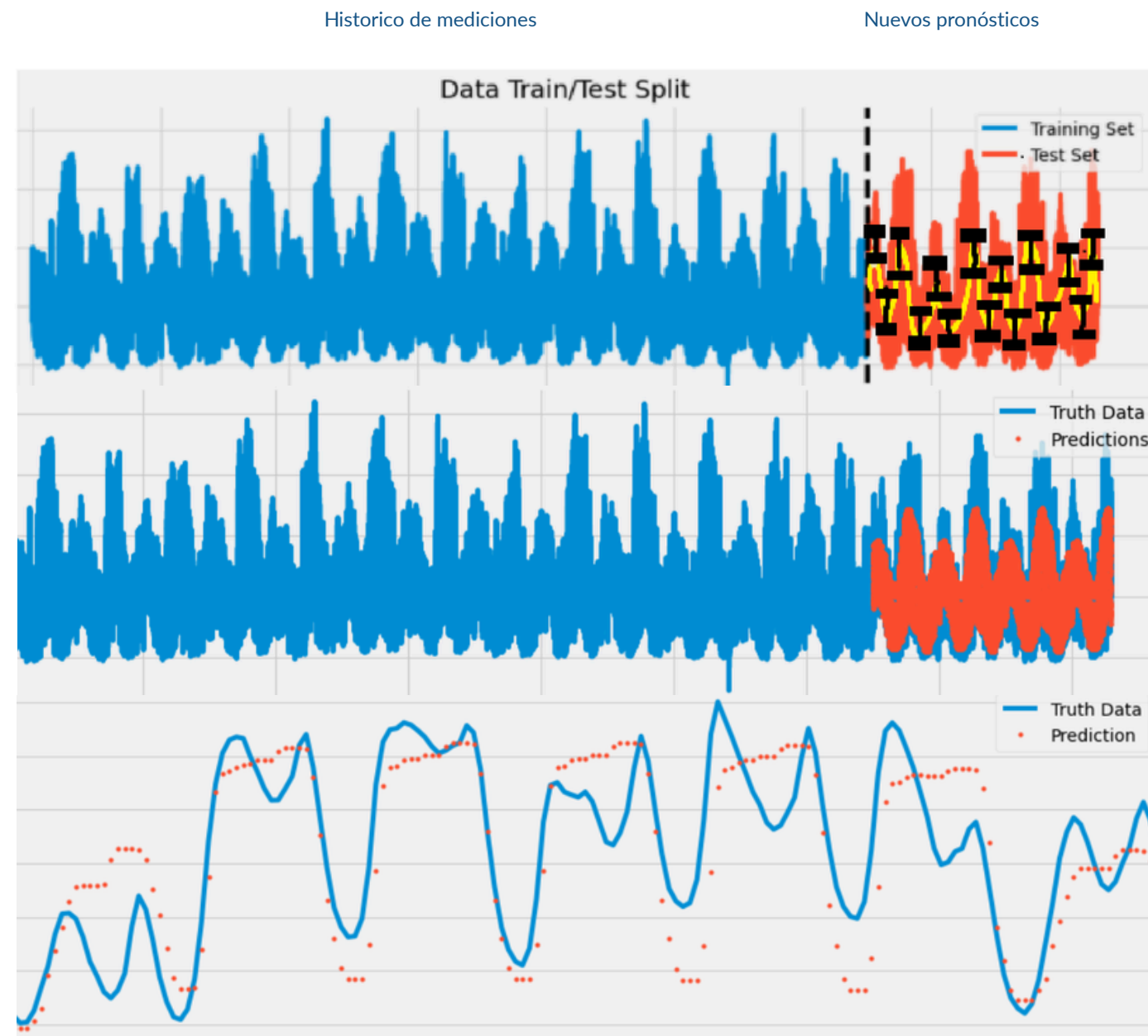
# Trend Decomposition

## Trend - Season - Residual

- Separamos variación diaria esperada (seasonal), tendencia lenta (trend) y ruido meteorológico (residual). Esto reduce carga cognitiva del modelo y permite aprender únicamente las desviaciones reales.



# Modelo base → training set - test set



Modelamos la generación/oferta futura como una función:

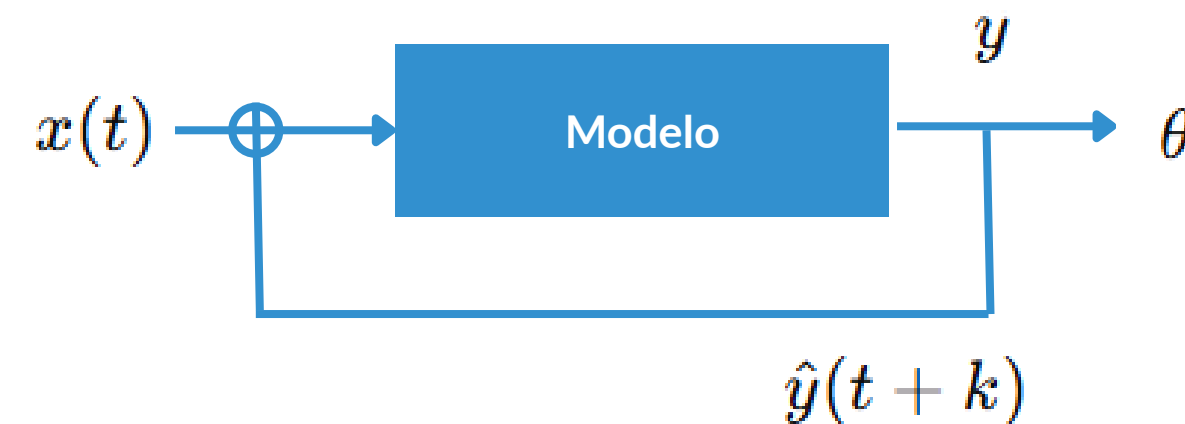
$$\hat{y}(t+k) = f(x(t), \theta)$$

Donde:

- $\hat{y}(t+k)$  = predicción de potencia futura (ej:  $P(t+12)$  para 1 hora adelante)
- $x(t)$  = vector de features en el instante  $t$
- $\theta$  = parámetros del modelo (pesos, bias, estructura interna)

Objetivo: minimizar error MAE/MAPE entre predicción y señal real

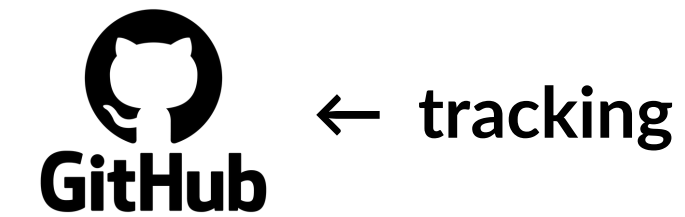
Ajuste: tuning de  $\theta$  vía retropropagación y ajuste iterativo



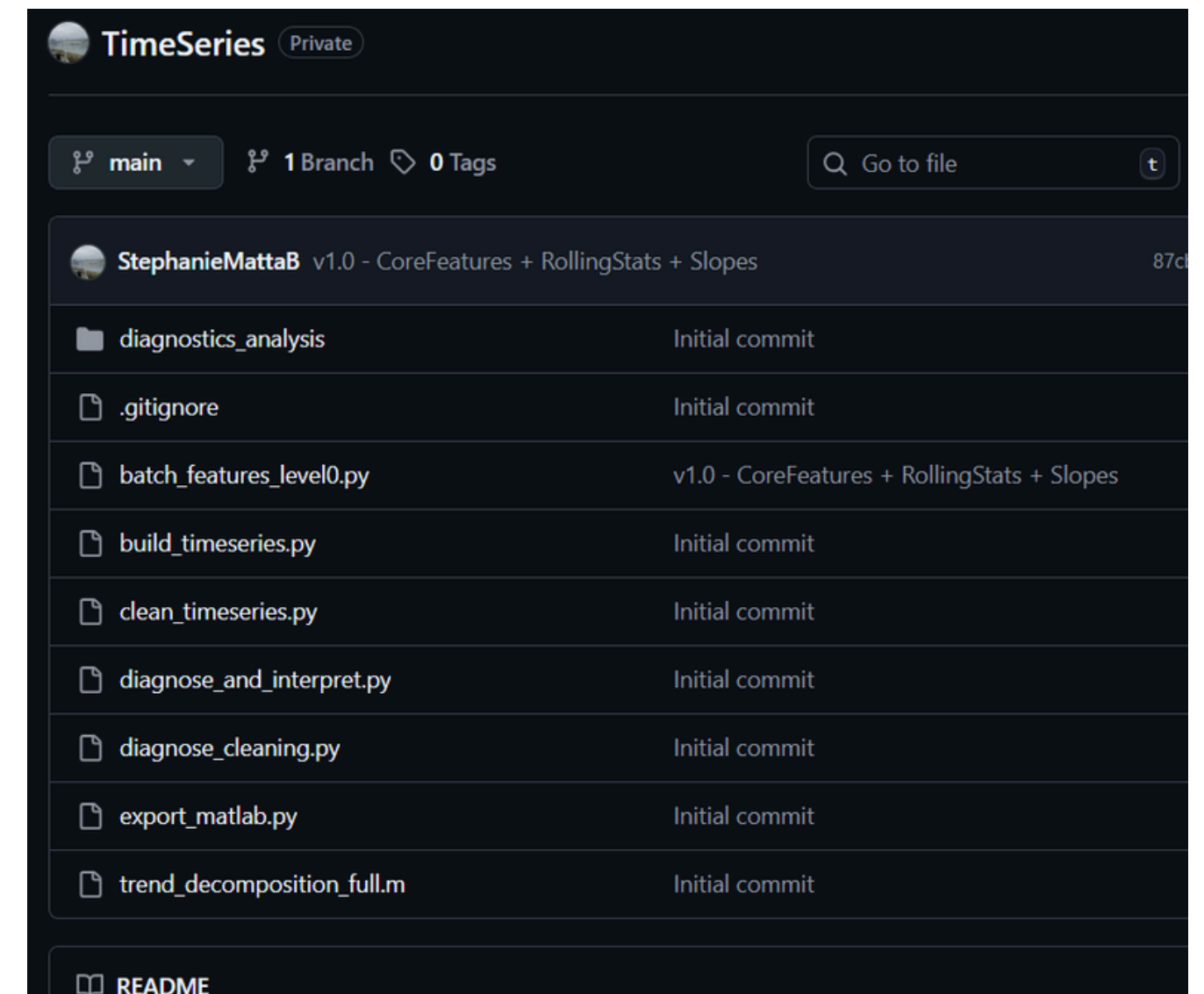
# Arquitectura del Feature Engineering

Sistema por capas (modular, escalable, versionado)

- Capa 0 - Base eléctrica (P,Q)
  - Capa 1 - Time + Lags + Ramps
    - Capa 2 - Rolling stats + slope + tendencia + estacionalidad
      - Capa 3 - Exogenous physical (meteo, temp)
        - Capa 4 - Market & Bidding (DAM/RTM, basis, spreads, regimes)
          - Capa 5 - Advanced engineering (composite, interactions, ML residuals)
            - Capa 6 - Rare features (anomaly score, PCA, clustering)



Control de versiones y trazabilidad por capa de features:



## i.e. Feature Batch San Miguel.csv (idea de dimensionamiento)

Capas 0 a 2, pre descomposicion temporal para performance

A integrar features exógenas (solar FV y cargas GHI Temperaturas, variables eléctricas), señales de mercado y operación.

W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AH	AI	AJ	AK	AL	AM	AN	AO	AP	AQ	AR	AS	AT	
P_kW_lag	P_kW_lag	P_kW_diff	P_kW_diff	P_kW_diff	P_kW_diff	P_kW_diff	Q_kVAr_lag	Q_kVAr_lag	Q_kVAr_lag	Q_kVAr_lag	Q_kVAr_lag	Q_kVAr_lag	Q_kVAr_lag	Q_kVAr_lag	Q_kVAr_diff	Q_kVAr_diff	Q_kVAr_diff	Q_kVAr_diff	Q_kVAr_diff	Q_kVAr_diff	P_kW_roll	P_kW_roll	P_kW_roll	P_kW_roll
1.5168120	1.593756	0.000576	-0.00343	0.002604	-0.07331	-0.05864	2.681376	2.710692	2.706828	2.678292	0	3.0187799	2.4959879	3.033596	4.8000000	-0.0254	0.003132	-0.33736	-0.35217	1.537764	0.003085	1.534536	1.534536	
1.5078839	1.597916	0.002976	0.00054	0.00054	-0.06739	-0.05723	2.6814240	2.681376	2.69862	2.705496	0	2.99934	2.449104	3.033596	0.0179279	0.000732	-0.00614	-0.29999	-0.33424	1.537854	0.003086	1.534536	1.534536	
1.503336	1.5807480	-0.00242	-0.0071	0.000252	-0.07619	-0.04508	2.699352	2.6814240	2.73006	2.696568	0	3.033596	2.4216360	3.033596	-0.01628	-0.04699	-0.0136	-0.35053	-0.35053	1.53667	0.001992	1.534536	1.534536	
1.509336	1.5794519	-0.0004	-0.00155	-0.00017	-0.07092	-0.04418	2.683068	2.699352	2.698104	2.6951159	0	3.000456	2.450892	3.033596	-0.00229	-0.01733	-0.01434	-0.31968	-0.35282	1.536412	0.002068	1.534536	1.534536	
1.511568	1.5856560	0.003816	-0.00072	0.000348	-0.07136	-0.04657	2.6807760	2.683068	2.710692	2.7110640	0	3.0244920	2.464296	3.033596	0.0146399	-0.01528	-0.01565	-0.32908	-0.33818	1.5362920	0.001841	1.534536	1.534536	
1.513992	1.580544	-0.00077	0.00378	0.0015	-0.07951	-0.04223	2.6954160	2.6807760	2.681376	2.699868	0	3.033596	2.476356	3.033596	0.003972	0.0180119	-0.00048	-0.33421	-0.33421	1.5369220	0.001765	1.5351120	1.5351120	
1.510488	1.58148	3.6000000	0.00324	-0.00019	-0.07794	-0.04313	2.699388	2.6954160	2.6814240	2.706828	0	3.033596	2.458908	3.033596	-0.0035	0.0144599	-0.01094	-0.33771	-0.33771	1.5374619	0.001587	1.5352679	1.5352679	
1.507068	1.582128	0.00336	0.003624	0.004164	-0.07144	-0.04042	2.695884	2.699388	2.699352	2.69862	0	3.033596	2.440716	3.033596	0.0148799	0.0114119	0.012144	-0.32283	-0.32283	1.538066	0.002369	1.5352679	1.5352679	
1.5111120	1.5840480	-0.00229	0.003756	-0.00335	-0.08003	-0.04463	2.7107639	2.695884	2.683068	2.73006	0	3.033596	2.458836	3.033596	-0.00785	0.0198480	-0.02714	-0.33068	-0.33068	1.538692	0.002087	1.5352679	1.5352679	
1.51566	1.5901679	-0.00145	0.0027	0.001152	-0.08226	-0.0522	2.702916	2.7107639	2.6807760	2.698104	0	3.033596	2.480484	3.033596	-0.01679	0.005352	-0.01198	-0.34747	-0.34747	1.539142	0.001369	1.537968	1.537968	
1.5148439	1.589868	0.001092	-2.40E-05	-0.00074	-0.08354	-0.05081	2.686128	2.702916	2.6954160	2.710692	0	3.033596	2.4765	3.033596	0.006504	-0.00278	-0.01806	-0.34096	-0.34096	1.5391380	0.001369	1.537968	1.537968	
1.5174120	1.589916	-0.00602	-0.00528	-0.0015	-0.08158	-0.05688	2.692632	2.686128	2.699388	2.681376	0	3.033596	2.4846120	3.033596	-0.02873	-0.03548	-0.01747	-0.36969	-0.36969	1.5382580	0.002874	1.533036	1.533036	
1.5150000	1.5854759	0.0018	-0.00352	-0.00028	-0.08579	-0.05064	2.663904	2.692632	2.695884	2.6814240	0	3.033596	2.4783359	3.033596	0.008796	-0.02318	-0.00872	-0.3609	-0.3609	1.537672	0.003191	1.533036	1.533036	
1.513692	1.5818759	-0.00253	-0.00941	-0.00578	-0.09401	-0.04957	2.6727	2.663904	2.7107639	2.699352	0	3.033596	2.4687479	3.033596	-0.01834	-0.0564	-0.04499	-0.37923	-0.37923	1.536104	0.00312	1.5323039	1.5323039	
1.515024	1.586436	0.001584	-0.00553	-0.00178	-0.09577	-0.05255	2.654364	2.6727	2.702916	2.683068	0	3.033596	2.476416	3.033596	0.0114238	-0.03713	-0.01728	-0.36781	-0.36781	1.5351819	0.002738	1.5323039	1.5323039	
1.5211679	1.5894359	0.00132	-0.00276	-6.00E-05	-0.08948	-0.05423	2.665788	2.654364	2.686128	2.6807760	0	3.033596	2.504856	3.033596	0.001152	-0.01919	-0.01384	-0.36666	-0.36666	1.5347220	0.002385	1.5323039	1.5323039	
1.502064	1.5902880	0.000636	-0.00322	-0.00324	-0.09414	-0.05444	2.66694	2.665788	2.692632	2.6954160	0	3.033596	2.412288	3.033596	0.009348	-0.01634	-0.01913	-0.35731	-0.35731	1.5341859	0.001354	1.5323039	1.5323039	
1.49712	1.590852	-0.0035	-0.0007	-0.00598	-0.07829	-0.05851	2.676288	2.66694	2.663904	2.699388	0	3.01014	2.382048	3.033596	-0.02149	-0.00911	-0.04459	-0.35534	-0.3788	1.53407	0.001495	1.5323039	1.5323039	
1.49802	1.594068	0.006324	0.003828	0.000312	-0.07145	-0.0554	2.654796	2.676288	2.6727	2.695884	0	3.0104159	2.386464	3.033596	0.0316440	0.0137400	-0.00944	-0.32398	-0.34716	1.534708	0.002419	1.5323039	1.5323039	
1.491516	1.591992	0.002484	0.008844	-0.00066	-0.06562	-0.05084	2.68644	2.654796	2.654364	2.7107639	0	2.990616	2.349864	2.890524	0.0139320	0.046008	-0.01039	-0.29024	-0.19015	1.536182	0.003222	1.53234	1.53234	
1.497936	1.58766	-0.00378	0.00348	-0.00205	-0.07501	-0.05029	2.700372	2.68644	2.665788	2.702916	0	3.02358	2.381328	2.774076	-0.02101	0.0135719	-0.02356	-0.34422	-0.09472	1.5367619	0.003034	1.53234	1.53234	
1.49424	1.5878519	0.002172	0.004332	0.001572	-0.07133	-0.04831	2.67936	2.700372	2.66694	2.686128	0	3.0108	2.368416	2.772564	0.0101399	0.0225599	0.003372	-0.3213	-0.08306	1.5374839	0.003105	1.53234	1.53234	
1.49148	1.5901199	0.00384	0.007536	0.00432	-0.0697	-0.04674	2.6895	2.67936	2.676288	2.692632	0	3.0228	2.3499	2.786654	0.01764	0.030852	0.0145079	-0.31566	-0.07962	1.53874	0.003763	1.53234	1.53234	
1.495692	1.5874080	0.00156	0.0125999	0.0119039	-0.06658	-0.04247	2.70714	2.6895	2.654796	2.663904	0	3.0166079	2.372256	2.7726960	0.0137400	0.066084	0.056976	-0.29573	-0.05182	1.54084	0.002893	1.537368	1.537368	
1.499664	1.590948	-0.00793	-0.00166	0.002172	-0.07543	-0.05394	2.72088	2.70714	2.68644	2.6727	0	3.033596	2.39124	2.792544	-0.04847	-0.01403	-0.00029	-0.36118	-0.12013	1.5405639	0.003204	1.5370080	1.5370080	
1.502916	1.591524	0.006552	0.002412	0.0112559	-0.07063	-0.04796	2.672412	2.72088	2.700372	2.654364	0	3.03132	2.406384	2.7899720	0.037848	0.009888	0.0558959	-0.32106	-0.08971	1.5409659	0.003435	1.5370080	1.5370080	

## i.e. Feature Batch San Miguel.csv (idea de dimensionamiento)

Capas 0 a 2, pre descomposicion temporal para performance

A integrar features exógenas (solar FV y cargas GHI Temperaturas, variables eléctricas), señales de mercado y operación.

### Una base de 'features'

considera:

- Core features,
- Statistical features,
- Memory Lags, Trend
- Decomposition

Temporalidad cilica en  
grados por ejemplo.

timestamp	KVARH	KWHE	KWHR	pf	P_kW	Q_kVAr	hour	minute	dayofweel	is_weeker	month	sin_hour	cos_hour	sin_dow	cos_dow	P_kW_lag_1	P_kW_lag_2	P_kW_lag_3	P_kW_lag_4	P_kW_lag_5	P_kW_lag_6
6/17/2024 0:05	0.22345	0.12793	0	0.496838	1.535112	2.681424	0	5	0	0	6	0	1	0	1	1.53454	1.539803	1.53854	1.53251	0	1.608419
6/17/2024 0:10	0.22495	0.12817	0	0.495071	1.538088	2.69935	0	10	0	0	6	0	1	0	1	1.535112	1.53454	1.53755	1.53755	0	1.60548
6/17/2024 0:15	0.22359	0.12797	0	0.496744	1.535664	2.68307	0	15	0	0	6	0	1	0	1	1.538088	1.535112	1.542768	1.53541	0	1.611851
6/17/2024 0:20	0.2234	0.12794	0	0.496967	1.535267	2.680776	0	20	0	0	6	0	1	0	1	1.535664	1.538088	1.53682	1.535436	0	1.60619
6/17/2024 0:25	0.22462	0.12826	0	0.495858	1.539084	2.695416	0	25	0	0	6	0	1	0	1	1.535267	1.535664	1.539803	1.53874	0	1.610447
6/17/2024 0:30	0.22495	0.12819	0	0.495121	1.53832	2.69939	0	30	0	0	6	0	1	0	1	1.539084	1.535267	1.53454	1.53682	0	1.617827
6/17/2024 0:35	0.22466	0.1282	0	0.495615	1.538352	2.69588	0	35	0	0	6	0	1	0	1	1.53832	1.539084	1.535112	1.53854	0	1.61629
6/17/2024 0:40	0.2259	0.12848	0	0.494374	1.54171	2.710763	0	40	0	0	6	0	1	0	1	1.538352	1.53832	1.538088	1.53755	0	1.613147
6/17/2024 0:45	0.22524	0.12829	0	0.494901	1.539420	2.70292	0	45	0	0	6	0	1	0	1	1.54171	1.538352	1.535664	1.542768	0	1.619447
6/17/2024 0:50	0.22384	0.12816	0	0.496878	1.53797	2.68613	0	50	0	0	6	0	1	0	1	1.539420	1.54171	1.535267	1.53682	0	1.62023
6/17/2024 0:55	0.22439	0.12826	0	0.496239	1.53906	2.69263	0	55	0	0	6	0	1	0	1	1.53797	1.539420	1.539084	1.539803	0	1.6226
6/17/2024 1:00	0.22199	0.12775	0	0.498786	1.53304	2.6639	1	0	0	0	6	0.258819	0.965925	0	1	1.53906	1.53797	1.53832	1.53454	0	1.614612
6/17/2024 1:05	0.22273	0.1279	0	0.497991	1.534835	2.6727	1	5	0	0	6	0.258819	0.965925	0	1	1.53304	1.53906	1.538352	1.535112	0	1.62062
6/17/2024 1:10	0.2212	0.12769	0	0.499952	1.532303	2.65436	1	10	0	0	6	0.258819	0.965925	0	1	1.534835	1.53304	1.54171	1.538088	0	1.62631
6/17/2024 1:15	0.22215	0.12782	0	0.498730	1.53389	2.66579	1	15	0	0	6	0.258819	0.965925	0	1	1.532303	1.534835	1.539420	1.535664	0	1.62966
6/17/2024 1:20	0.22225	0.12793	0	0.498890	1.53521	2.66694	1	20	0	0	6	0.258819	0.965925	0	1	1.53389	1.532303	1.53797	1.535267	0	1.62469
6/17/2024 1:25	0.22302	0.12799	0	0.497735	1.53584	2.67629	1	25	0	0	6	0.258819	0.965925	0	1	1.53521	1.53389	1.53906	1.539084	0	1.62998
6/17/2024 1:30	0.22123	0.1277	0	0.499900	1.53234	2.6548	1	30	0	0	6	0.258819	0.965925	0	1	1.53584	1.53521	1.53304	1.53832	0	1.610628
6/17/2024 1:35	0.22387	0.12822	0	0.497004	1.53866	2.68644	1	35	0	0	6	0.258819	0.965925	0	1	1.53234	1.53584	1.534835	1.538352	0	1.61011
6/17/2024 1:40	0.22503	0.12843	0	0.495672	1.541147	2.70037	1	40	0	0	6	0.258819	0.965925	0	1	1.53866	1.53234	1.532303	1.54171	0	1.606763
6/17/2024 1:45	0.22328	0.12811	0	0.497676	1.53737	2.67936	1	45	0	0	6	0.258819	0.965925	0	1	1.541147	1.53866	1.53389	1.539420	0	1.612380
6/17/2024 1:50	0.22413	0.1283	0	0.496791	1.53954	2.6895	1	50	0	0	6	0.258819	0.965925	0	1	1.53737	1.541147	1.53521	1.53797	0	1.61087
6/17/2024 1:55	0.2256	0.12862	0	0.495278	1.54338	2.70714	1	55	0	0	6	0.258819	0.965925	0	1	1.53954	1.53737	1.53584	1.53906	0	1.61308
6/17/2024 2:00	0.22674	0.12875	0	0.493764	1.54494	2.72088	2	0	0	0	6	0.499999	0.866025	0	1	1.54338	1.53954	1.53234	1.53304	0	1.61152
6/17/2024 2:05	0.2227	0.12808	0	0.498561	1.537008	2.67241	2	5	0	0	6	0.499999	0.866025	0	1	1.54494	1.54338	1.53866	1.534835	0	1.61544
6/17/2024 2:10	0.22586	0.12863	0	0.494891	1.543559	2.71026	2	10	0	0	6	0.499999	0.866025	0	1	1.537008	1.54494	1.541147	1.532303	0	1.61419
6/17/2024 2:15	0.22337	0.12818	0	0.497717	1.538147	2.68043	2	15	0	0	6	0.499999	0.866025	0	1	1.543559	1.537008	1.53737	1.53389	0	1.61188
6/17/2024 2:20	0.22307	0.12818	0	0.498232	1.538183	2.676803	2	20	0	0	6	0.499999	0.866025	0	1	1.538147	1.543559	1.53954	1.53521	0	1.61603
6/17/2024 2:25	0.22529	0.12864	0	0.495840	1.543632	2.70352	2	25	0	0	6	0.499999	0.866025	0	1	1.538183	1.538147	1.54338	1.53584	0	1.61861
6/17/2024 2:30	0.22654	0.12886	0	0.494416	1.54626	2.718455	2	30	0	0	6	0.499999	0.866025	0	1	1.543632	1.538183	1.54494	1.53234	0	1.61178
6/17/2024 2:35	0.22326	0.12815	0	0.497808	1.537764	2.679108	2	35	0	0	6	0.499999	0.866025	0	1	1.54626	1.543632	1.537008	1.53866	0	1.617407
6/17/2024 2:40	0.22289	0.12824	0	0.498693	1.53887	2.6747	2	40	0	0	6	0.499999	0.866025	0	1	1.537764	1.54626	1.543559	1.541147	0	1.622423
6/17/2024 2:45	0.22267	0.12807	0	0.498591	1.536887	2.67199	2	45	0	0	6	0.499999	0.866025	0	1	1.53887	1.537764	1.538147	1.53737	0	1.61904
6/17/2024 2:50	0.22447	0.1285	0	0.496814	1.542	2.69363	2	50	0	0	6	0.499999	0.866025	0	1	1.536887	1.53887	1.538183	1.53954	0	1.6183
6/17/2024 2:55	0.2244	0.12842	0	0.49671	1.54106	2.69275	2	55	0	0	6	0.499999	0.866025	0	1	1.542	1.536887	1.543632	1.54338	0	1.619676
6/17/2024 3:00	0.22432	0.1285	0	0.497045	1.54195	2.69189	3	0	0	0	6	0.707106	0.707106	0	1	1.54106	1.542	1.54626	1.54494	0	1.62433
6/17/2024 3:05	0.22509	0.12857	0	0.495980	1.542792	2.70103	3	5	0	0	6	0.707106	0.707106	0	1	1.54195	1.54106	1.537764	1.537008	0	1.619087
6/17/2024 3:10	0.22309	0.12822	0	0.498312	1.538676	2.67709	3	10	0	0	6	0.707106	0.707106	0	1	1.542792	1.54195	1.53887	1.543559	0	1.618644

# Formulación de Optimización

$$\hat{y} = Xw$$

$X \in \mathbb{R}^{N \times d}$ : matriz de features históricas (training set).  
 $y \in \mathbb{R}^N$ : mediciones reales históricas.  
 $w \in \mathbb{R}^d$ : parámetros del modelo.

Queremos minimizar simultáneamente:

1. Error de predicción entre valores estimados ( $Xw$ ) y valores reales ( $y$ ).
2. Regularización L2 para mantener el modelo estable y evitar sobreajuste.

Función objetivo:

$$\min_{w \in \mathbb{R}^d} f(w) = \frac{1}{N} \|Xw - y\|_2^2 + \frac{\lambda}{2} \|w\|_2^2$$

Dónde:

El primer término mide qué tan bien el modelo reproduce la realidad.

El segundo término evita que el modelo dependa demasiado de ciertas variables → estabilidad y robustez, especialmente importante porque los datos reales llegan con retraso mensual.

Métodos de optimización evaluados

1. Gradient Descent (paso fijo  $\alpha=1/L$ )

$$w_{k+1} = w_k - \alpha \nabla f(w_k)$$

2. Nesterov Accelerated Gradient (acelerado,  $\alpha=1/L$ )

$$w_{k+1} = y_k - \alpha \nabla f(y_k)$$

$$y_{k+1} = w_{k+1} + \beta_k (w_{k+1} - w_k), \quad \beta_k = \frac{k}{k+3}$$

Formulamos la función objetivo, calculamos su gradiente, y comparamos la eficiencia de dos algoritmos: Gradient Descent y Nesterov. La idea es obtener el mejor vector de parámetros del modelo que minimiza el error respecto a las mediciones reales.

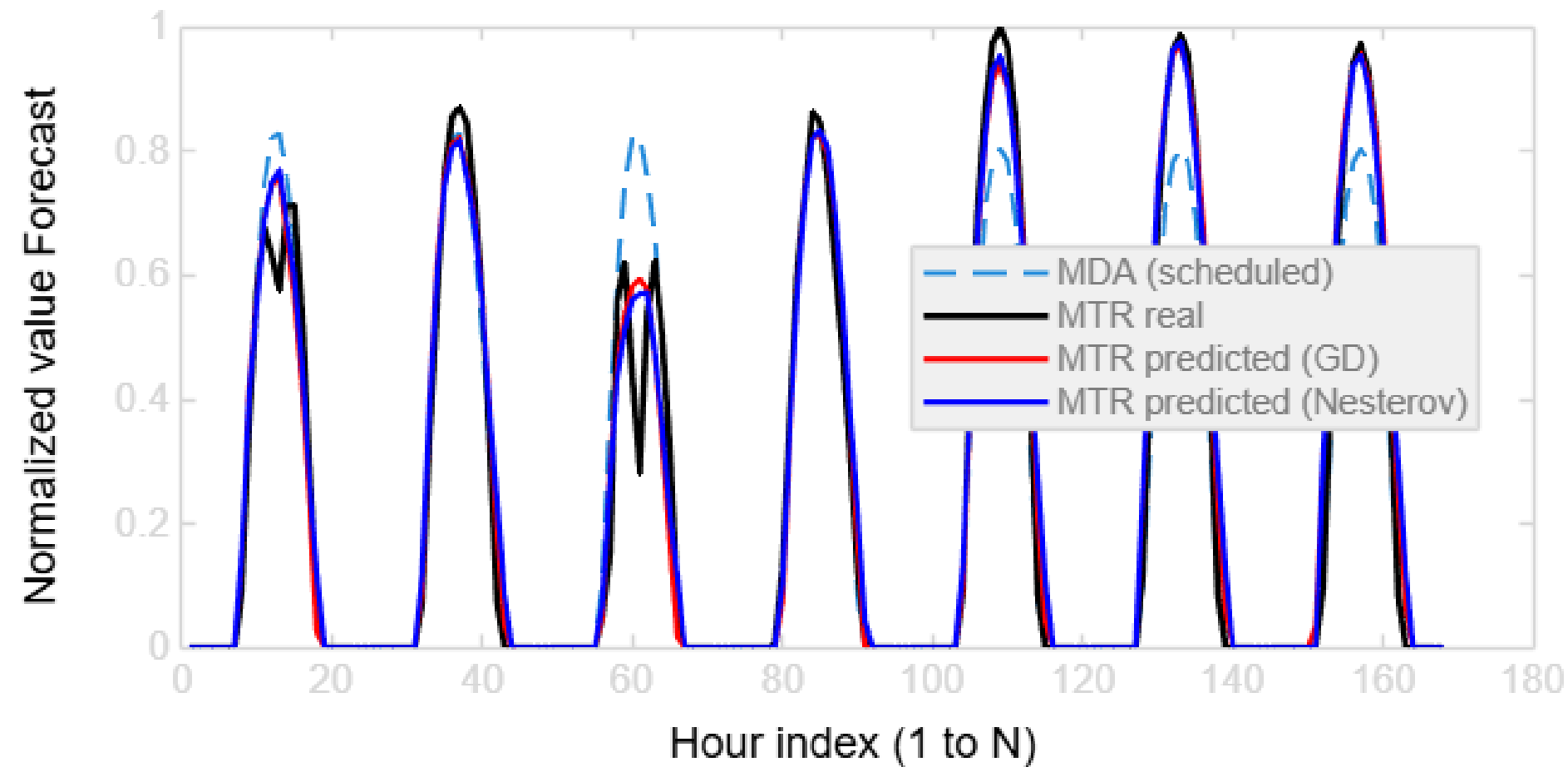
# Formulación de Optimización

Este modelo aprende exactamente:

qué peso óptimo tiene cada variable en la desviación entre MDA y MTR, y genera un forecast más preciso ajustado al comportamiento real del activo.

(reducir el error DAM-RTM desde la perspectiva física y meteorológica, no económica)

One-week solar profiles: MDA, real MTR, GD and Nesterov predictions



==== Normalized weight contributions (%) ====

MDA : GD = 5.26 % | Nesterov = 12.87 %

GHI : GD = 8.38 % | Nesterov = 14.34 %

T2M : GD = 6.86 % | Nesterov = 3.44 %

RH2M : GD = 12.19 % | Nesterov = 8.97 %

CLOUD : GD = 8.77 % | Nesterov = 4.84 %

hour\\_sin : GD = 0.74 % | Nesterov = 4.29 %

hour\\_cos : GD = 57.80 % | Nesterov = 51.25 %

# Next Steps:

- Test model with features + optimization algorithms,
- Show decisions in SCADA and HMI dashboard,
- Play around with the market!

# ¡Gracias!

Advanced Trading and Mathematical Optimization for Energy Markets | SUJIO | 03.28.2025 |

Last update: 3/28/2025  
smatta@sujio.mx | stephanie.mattab@gmail.com