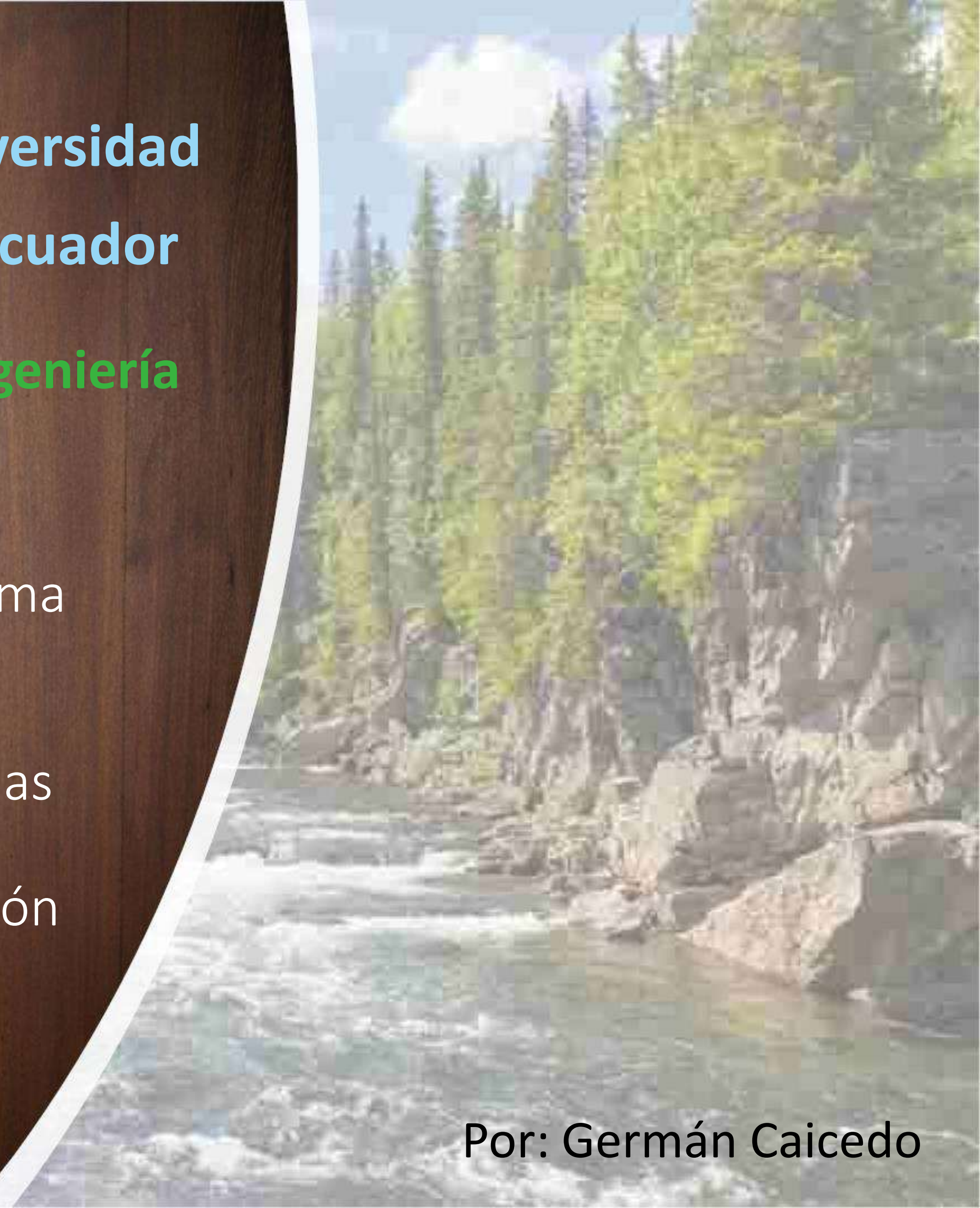
Pontificia Universidad Católica del Ecuador

Facultad de Ingeniería

Desarrollo de un programa en MATLAB para la generación de series sintéticas de hidrogramas para proyectos hidroeléctricos. Aplicación al caso del proyecto hidroeléctrico Topo.



Por: Germán Caicedo

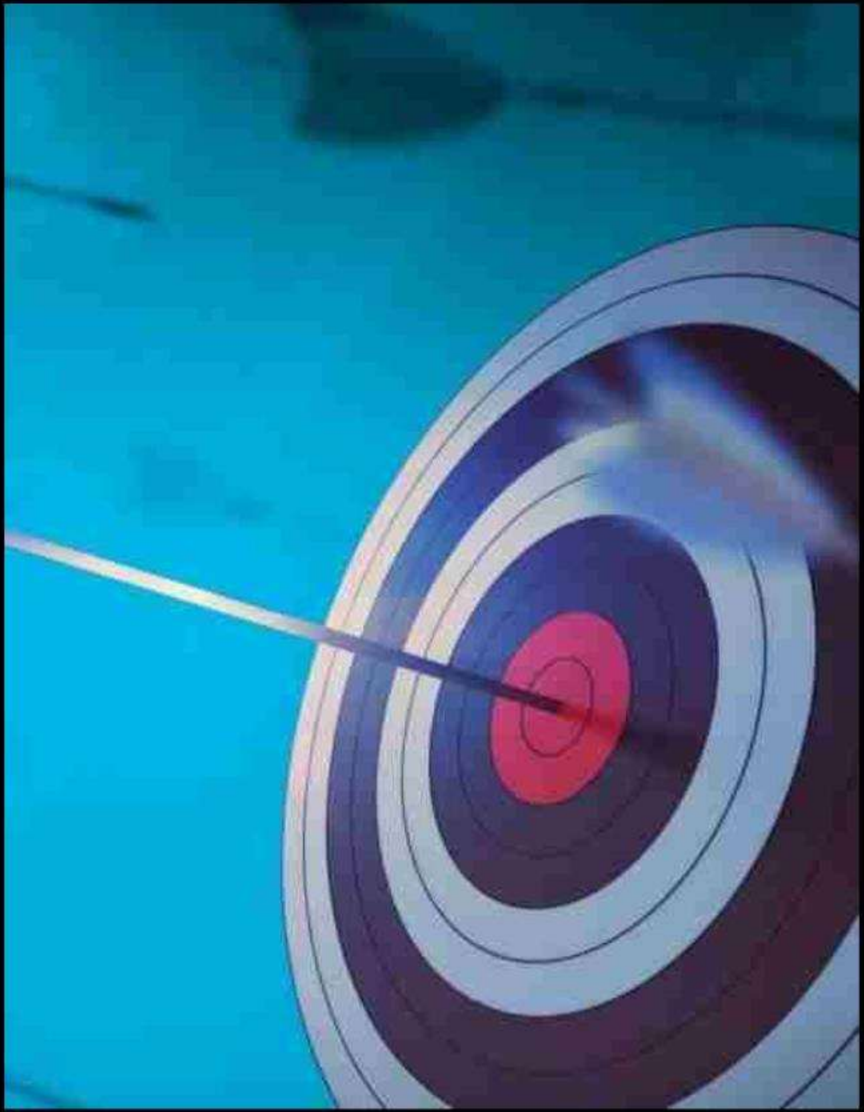
Objetivos

General:

- Generar un registro futuro sintético para la central hidroeléctrica Topo

Específicos:

- Ilustrar los principios de la modelación hidrológica
- Crear una serie sintética con diferentes intervalos en MATLAB a partir del modelo Thomas-Fiering
- Comparar lo pronosticado con lo observado



Indice

Transformación de la energía


Se han creado varios
mecanismos de
aprovechamiento del
agua


Centrales hidroeléctricas

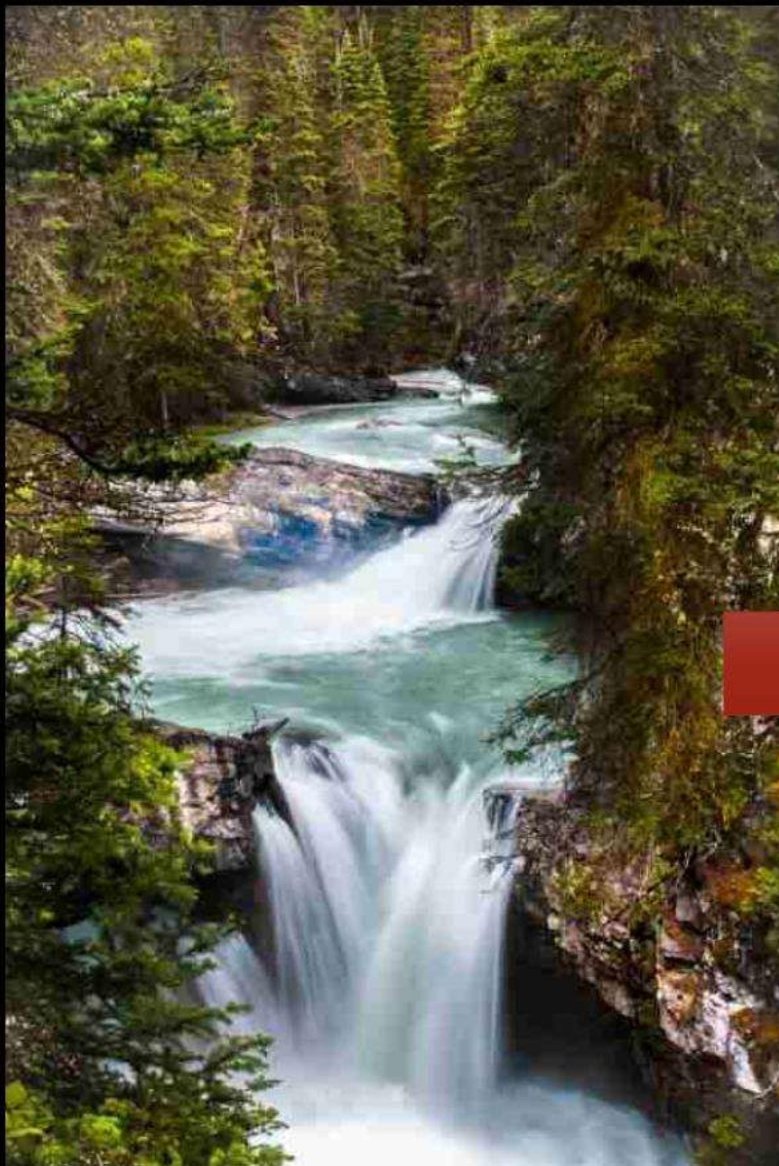
Proyecto hidroeléctrico Topo

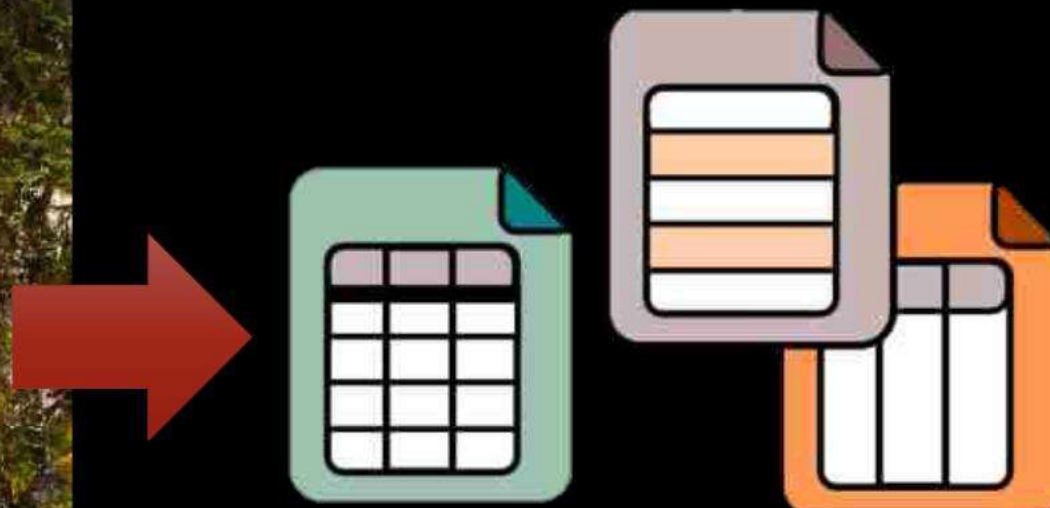
Pasto
Mocoa
Putumayo
Ibarra
Quito
Santo Domingo
Manta
Quevedo
Portoviejo
ECUADOR
Riobamba
Guayaquil
Cuenca
Golfo de
Guayaquil
Machala
Tumbes
Tumbes
Loja
Piura

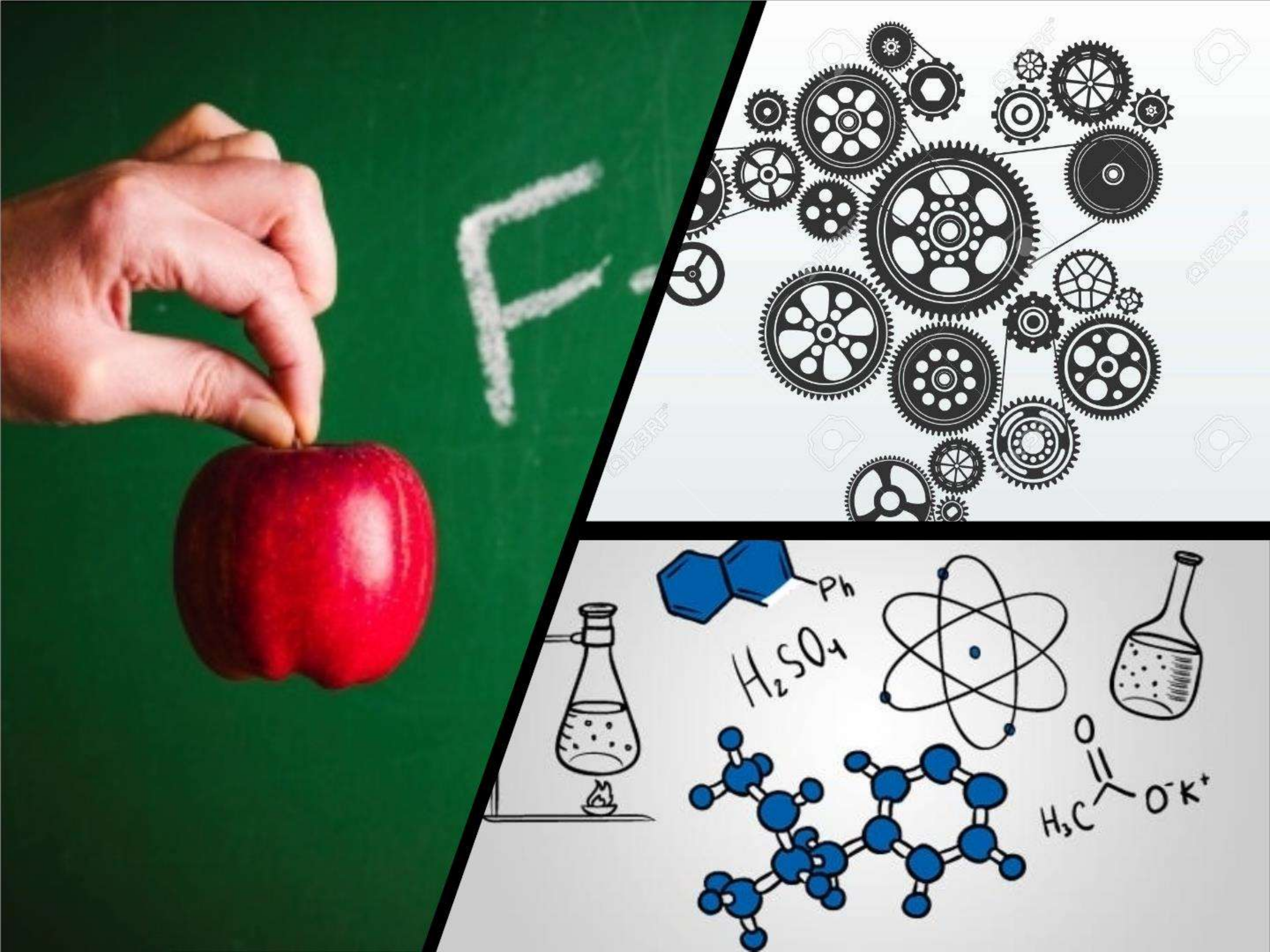

Pujilí
Guaranda
TUNGURAHUA
PASTAZA


809000
809250
809500
809750
810000
810250
810500
810750
811000
811250
9849250
9849000
9848750
9848500
9848250
9848000
9847750
Leyenda
Captación
Casa de Máquinas

Idealización de la realidad





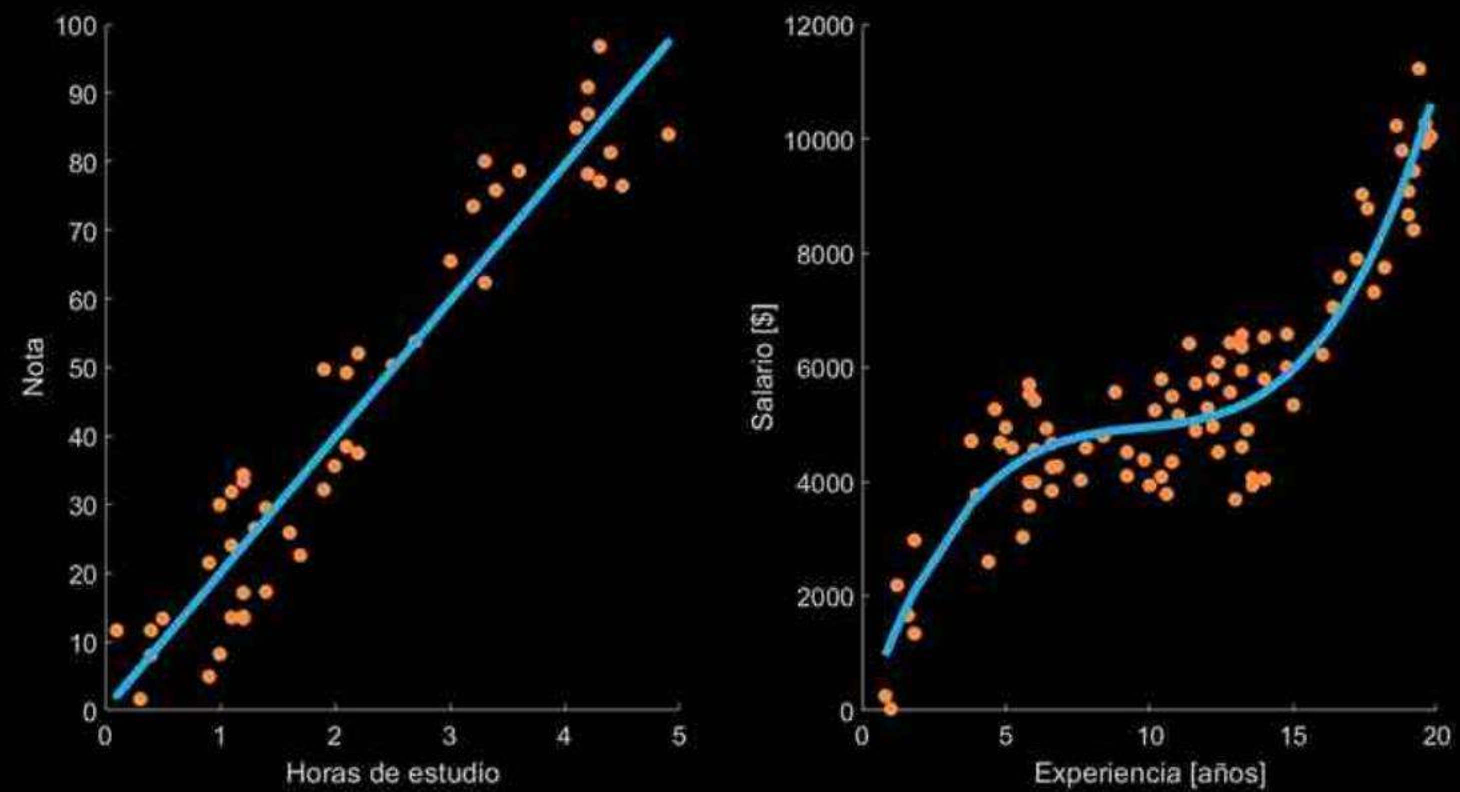

F.
Ph
H2SO4
O
H3C
O-K+

VARIABLE INDEPENDIENTE **(CAUSA)**

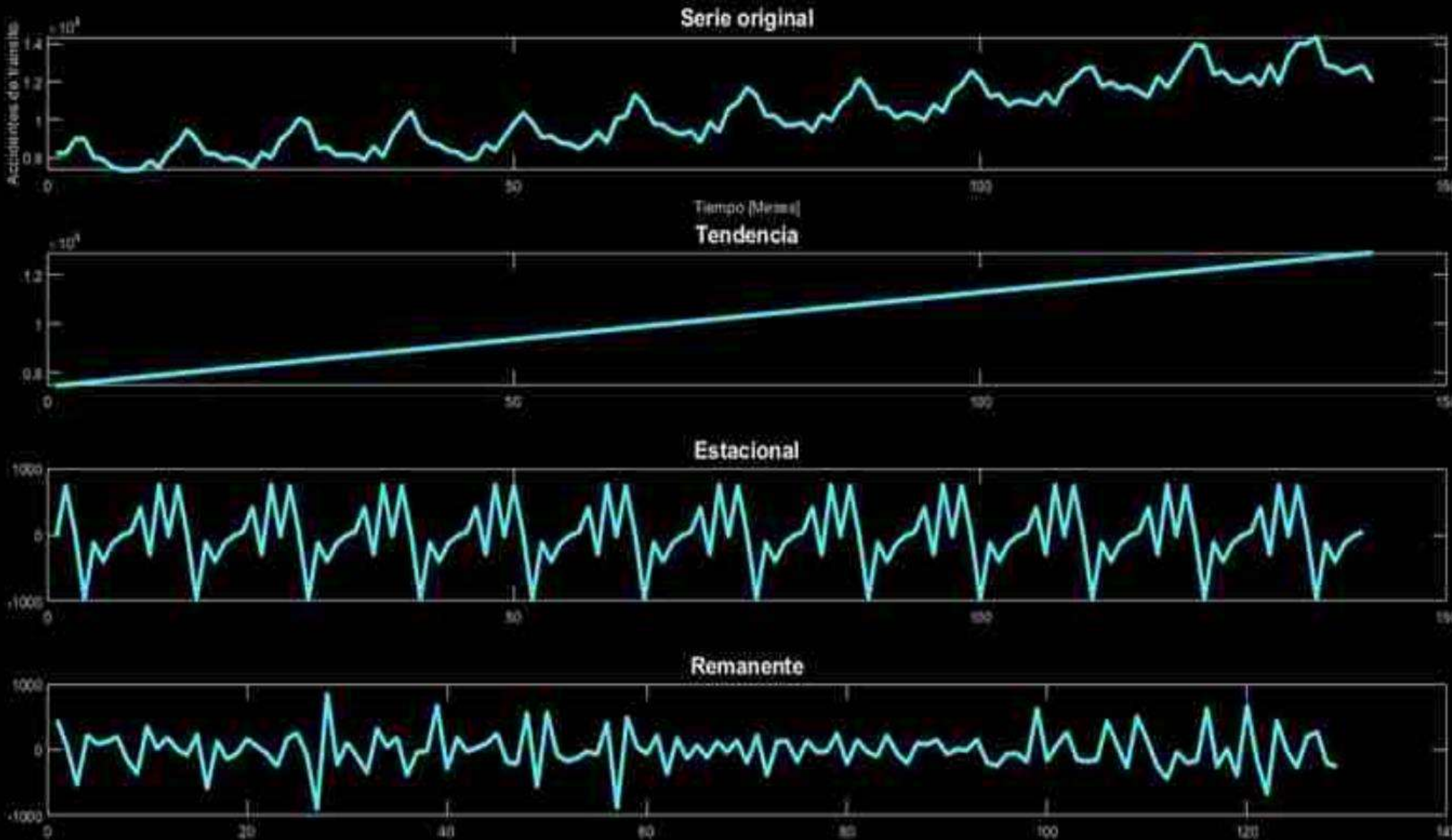
VARIABLE DEPENDIENTE **(EFECTO)**

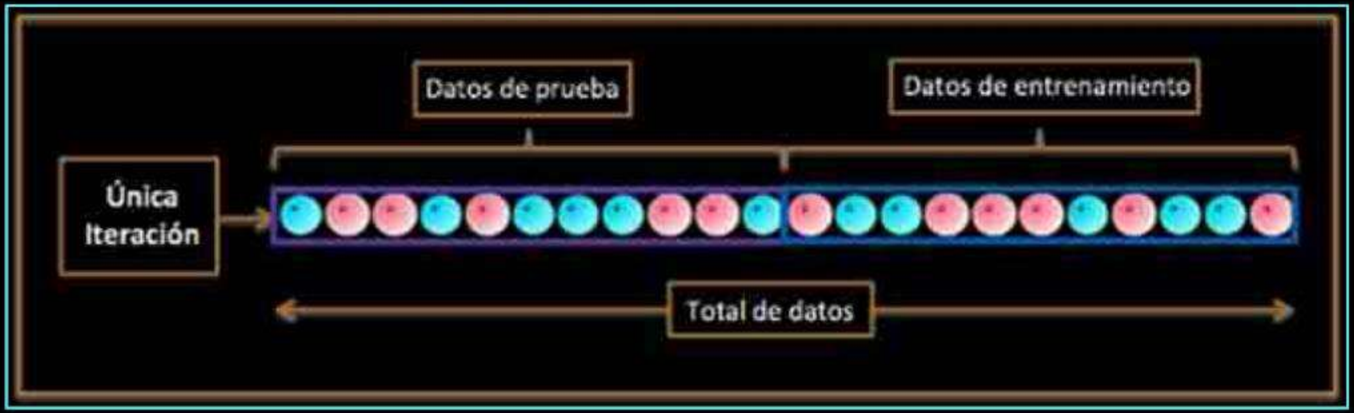
Regresiones

Las relaciones pueden ser lineales o no lineales



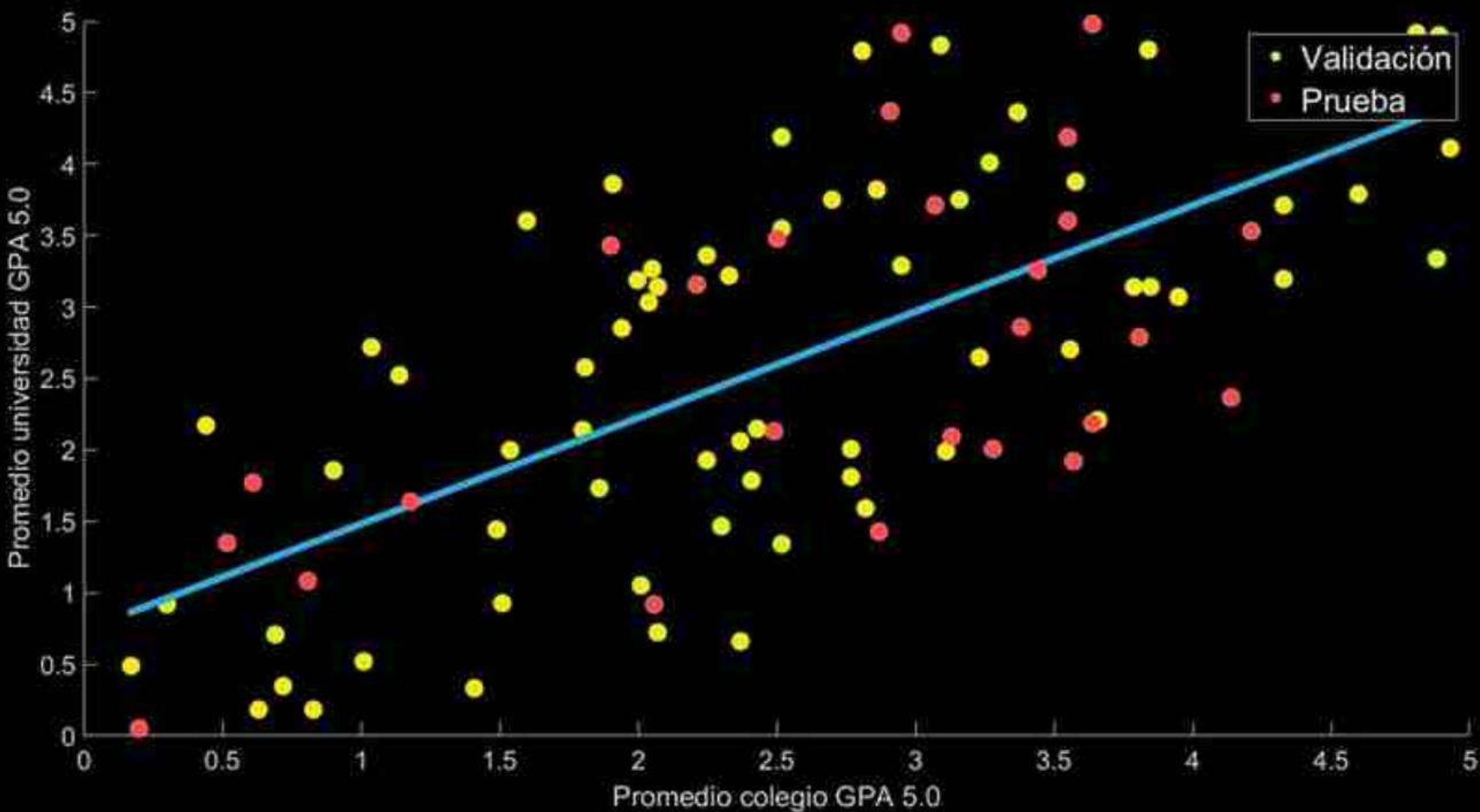
Series de Tiempo


Serie original
Accidentes de tránsito
Tiempo [Meses]
Tendencia
Estacional
Remanente

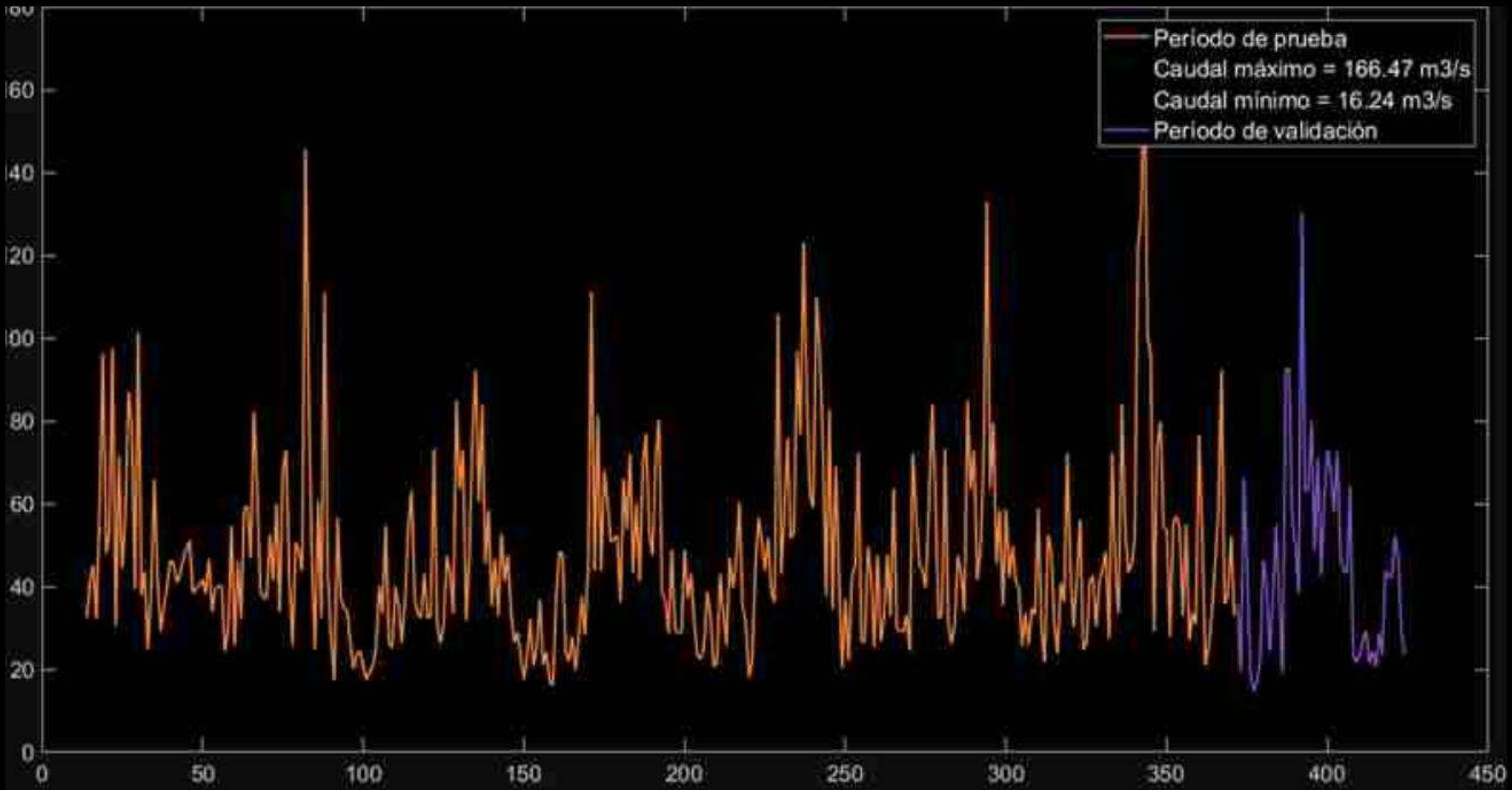


Validacion cruzada

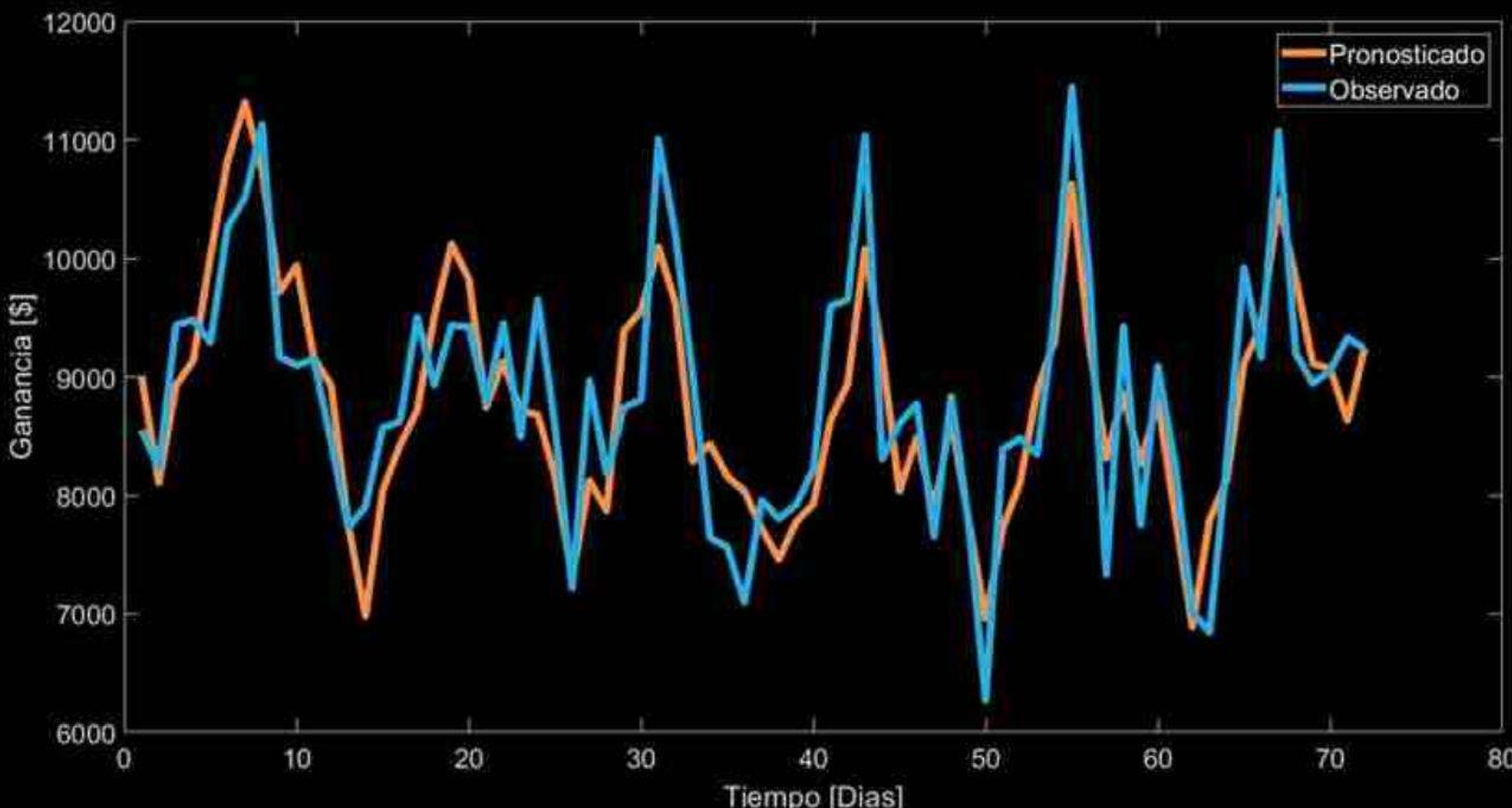
En la estadistica descriptiva se eliminan datos aleatoriamente



En las series de tiempo se eliminan los datos mas recientes



Los errores son inevitables

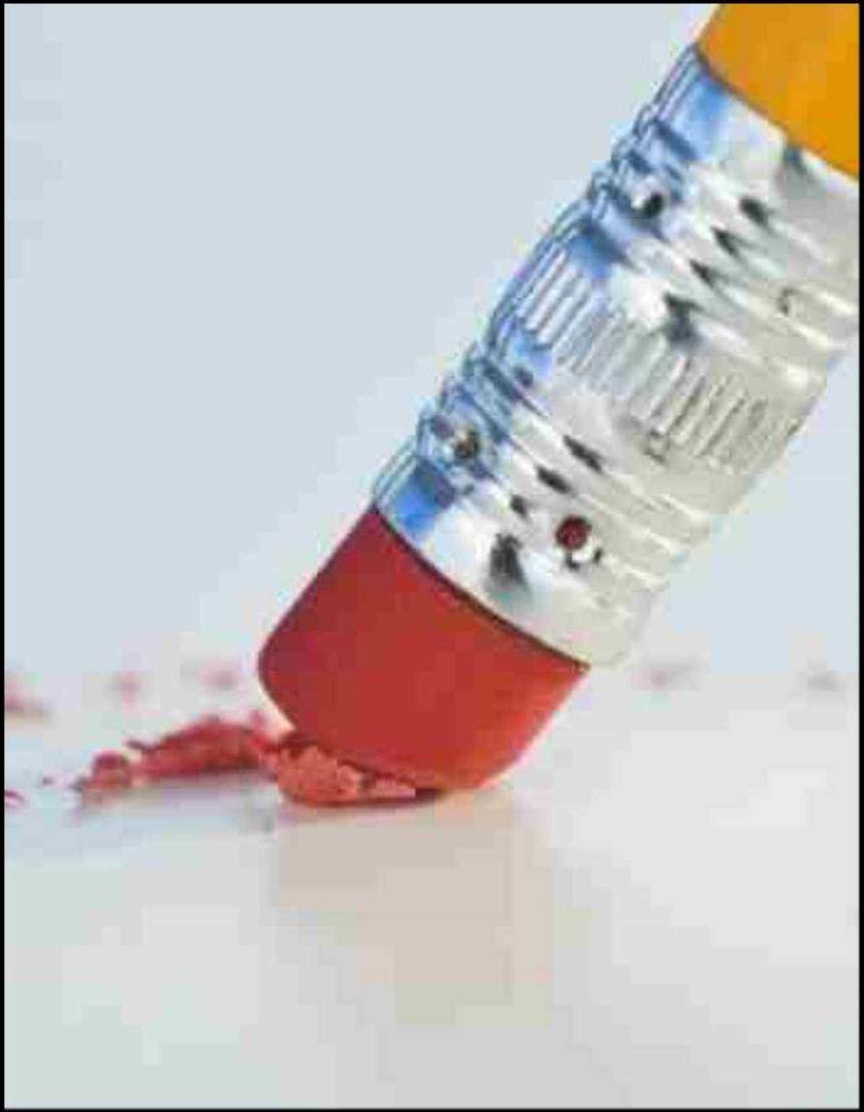


Condiciones de los errores

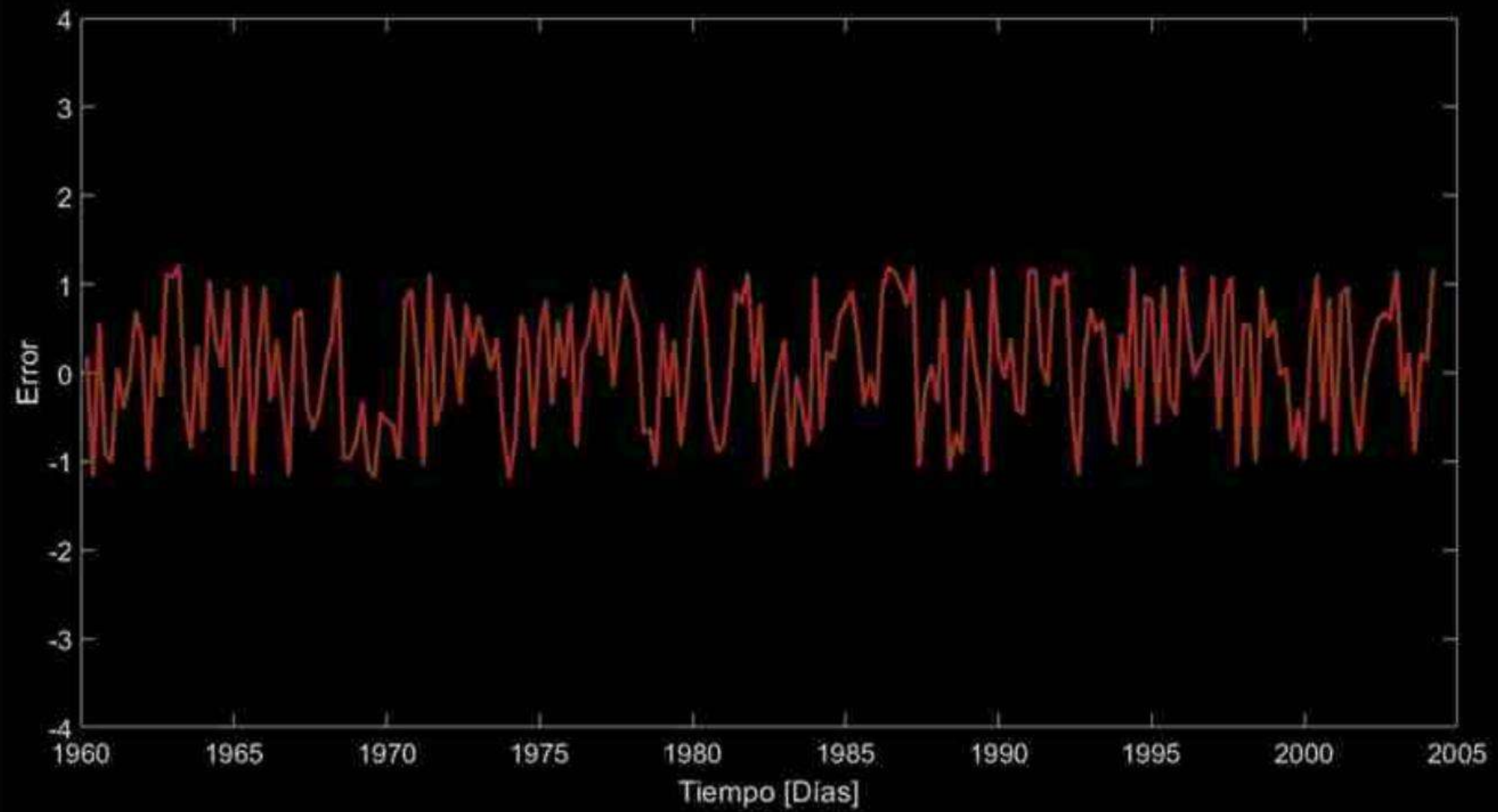
Son aleatorios

Tienen una varianza constante

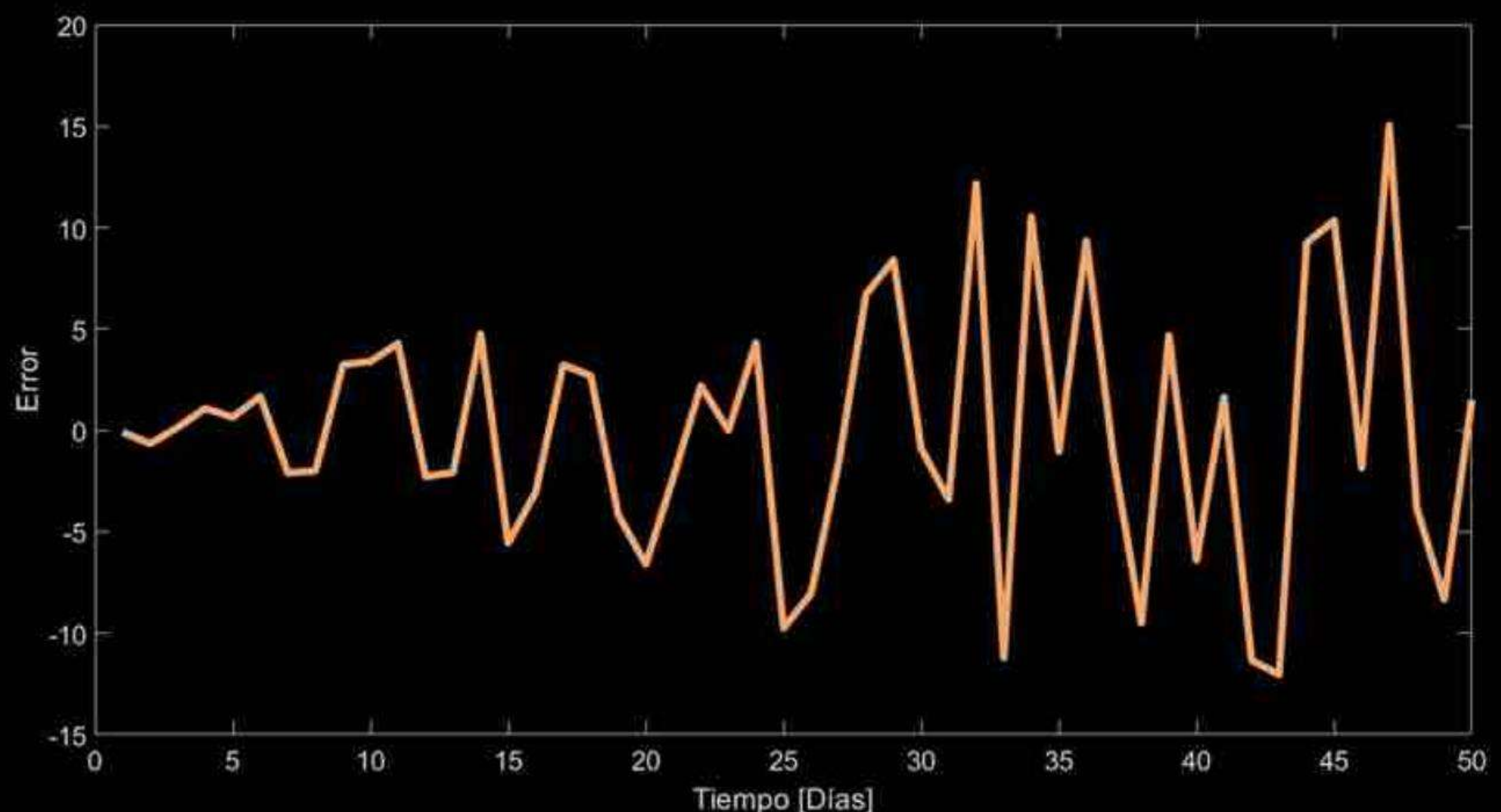
Están distribuidos normalmente y tienen una varianza de cero



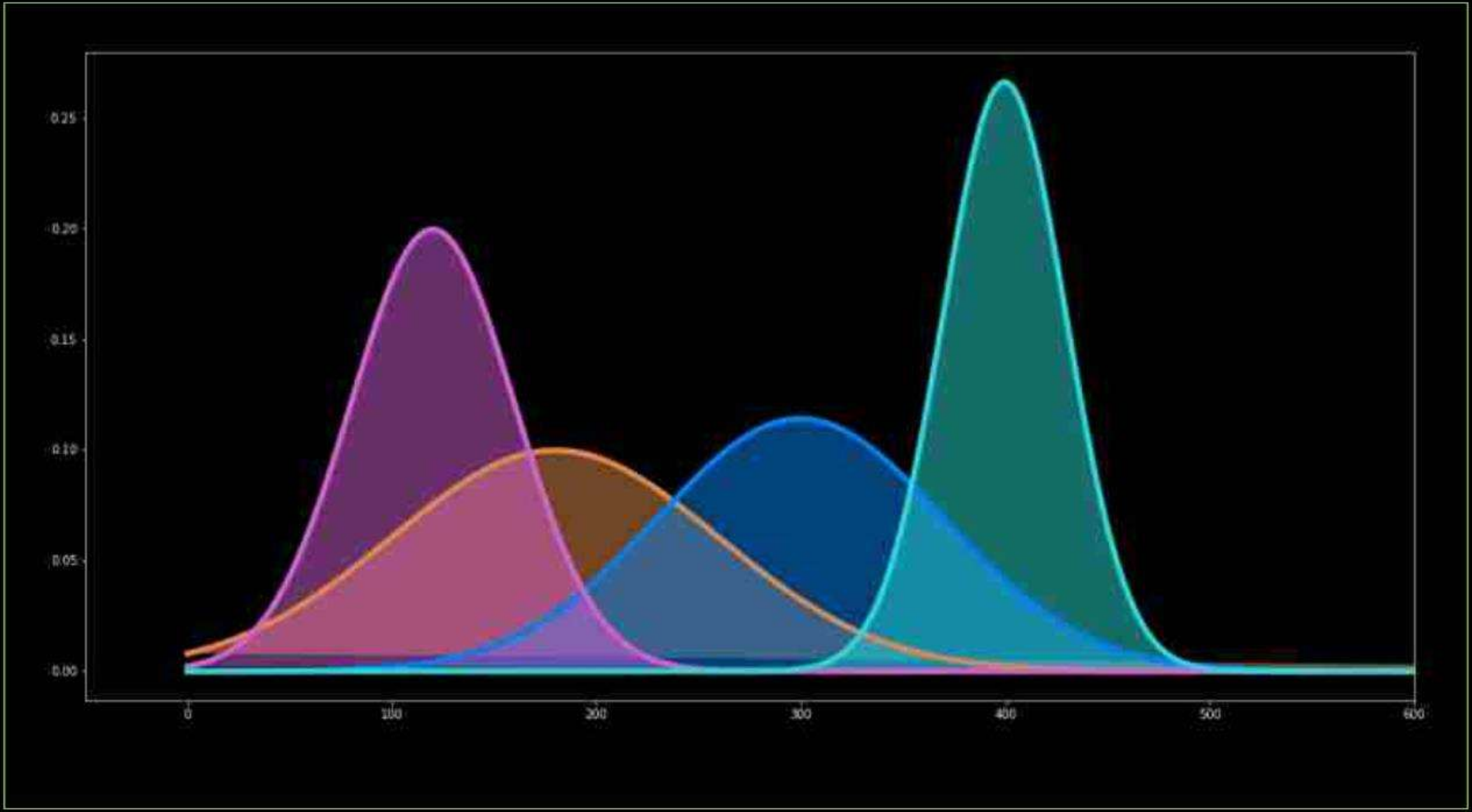
Son aleatorios

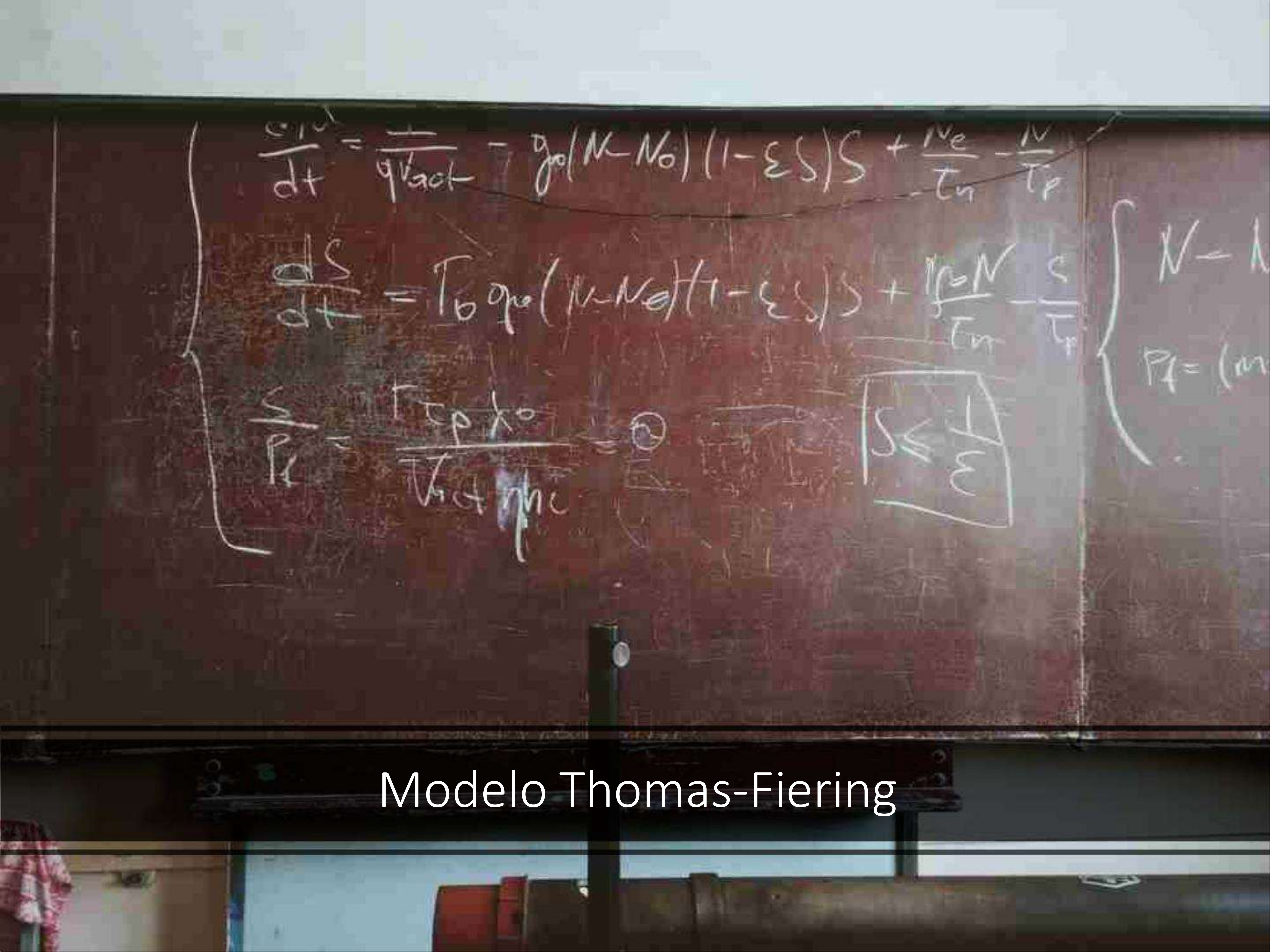


Tienen una varianza constante



Están distribuidos normalmente y tienen media de cero





Modelo Thomas-Fiering

Caudal de febrero

Coef. de corr ene-feb

Desv. est febrero

Componente aleatoria

$$Q_i = \bar{Q}_j + \rho_j \frac{\sigma_j}{\sigma_{j-1}}\left(Q_{i-1} - \bar{Q}_{j-i}\right) + t_i \sigma_j \sqrt{1-\rho_j^2}$$

Media de febrero

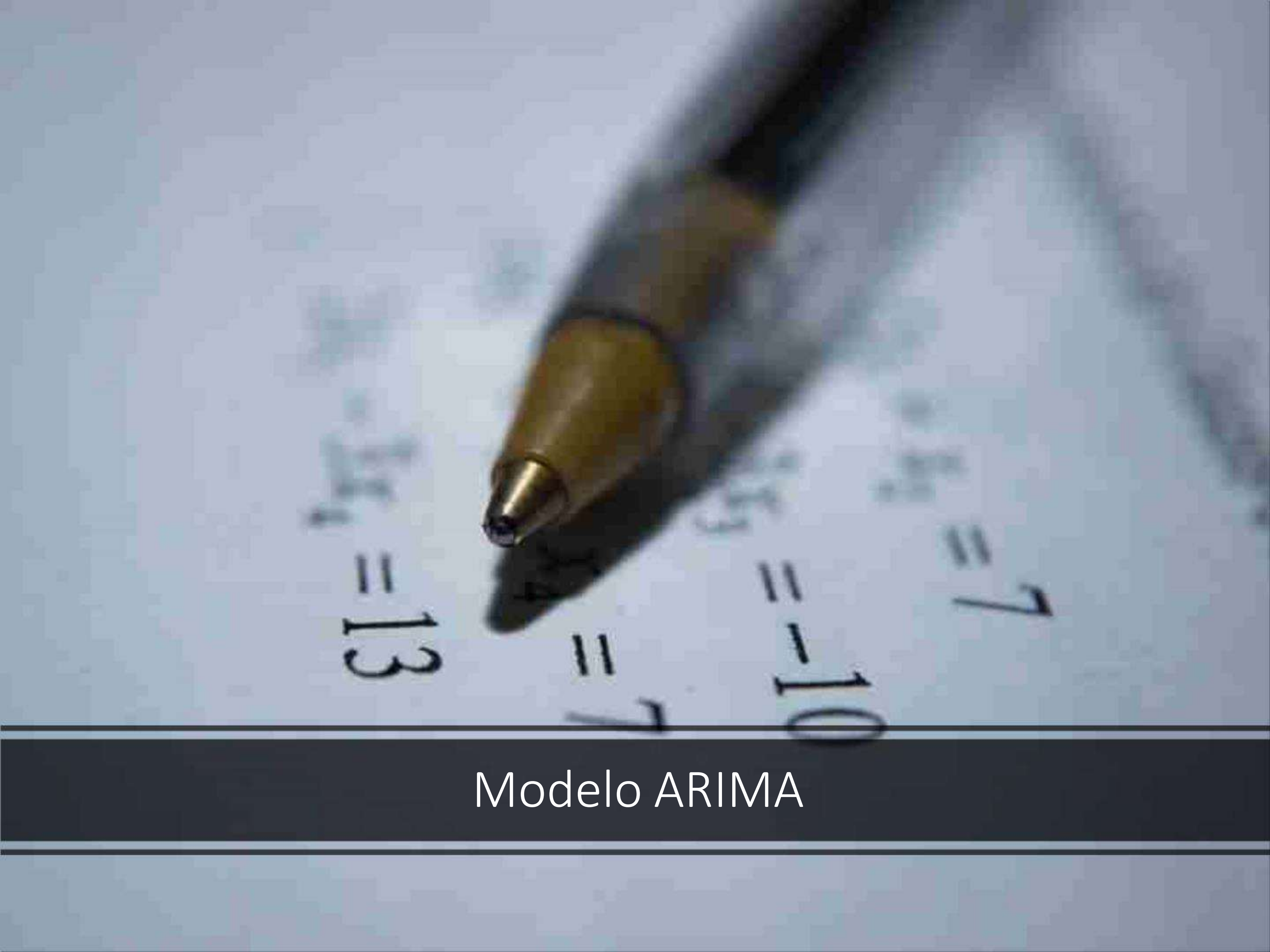
Desv. est enero

Caudal de enero

Media de enero

- Desarrollado por Myron Fiering y Harold Thomas
- Genera una ecuación para cada intervalo
- Puede trabajar con datos faltantes

$$Q_i = f < Q_{i-1}; t_i >$$



Modelo ARIMA

$$Z_t = \phi_1 Z_{t-1} + \phi_2 Z_{t-2} + \cdots + \phi_p Z_{t-p}$$ Polinomio AR

$$+\upsilon_1 Z_{t-1} + \cdots + \upsilon_P Z_{t-P}$$ Polinomio AR estacional

$$+\theta_1 \epsilon_{t-1} + \cdots + \theta_q \epsilon_{t-q}$$ Polinomio MA

$$+\varphi_1 \epsilon_{t-1} + \cdots + \varphi_Q \epsilon_{t-Q}$$ Polinomio MA estacional

$$+\epsilon_t$$ Componente aleatorio

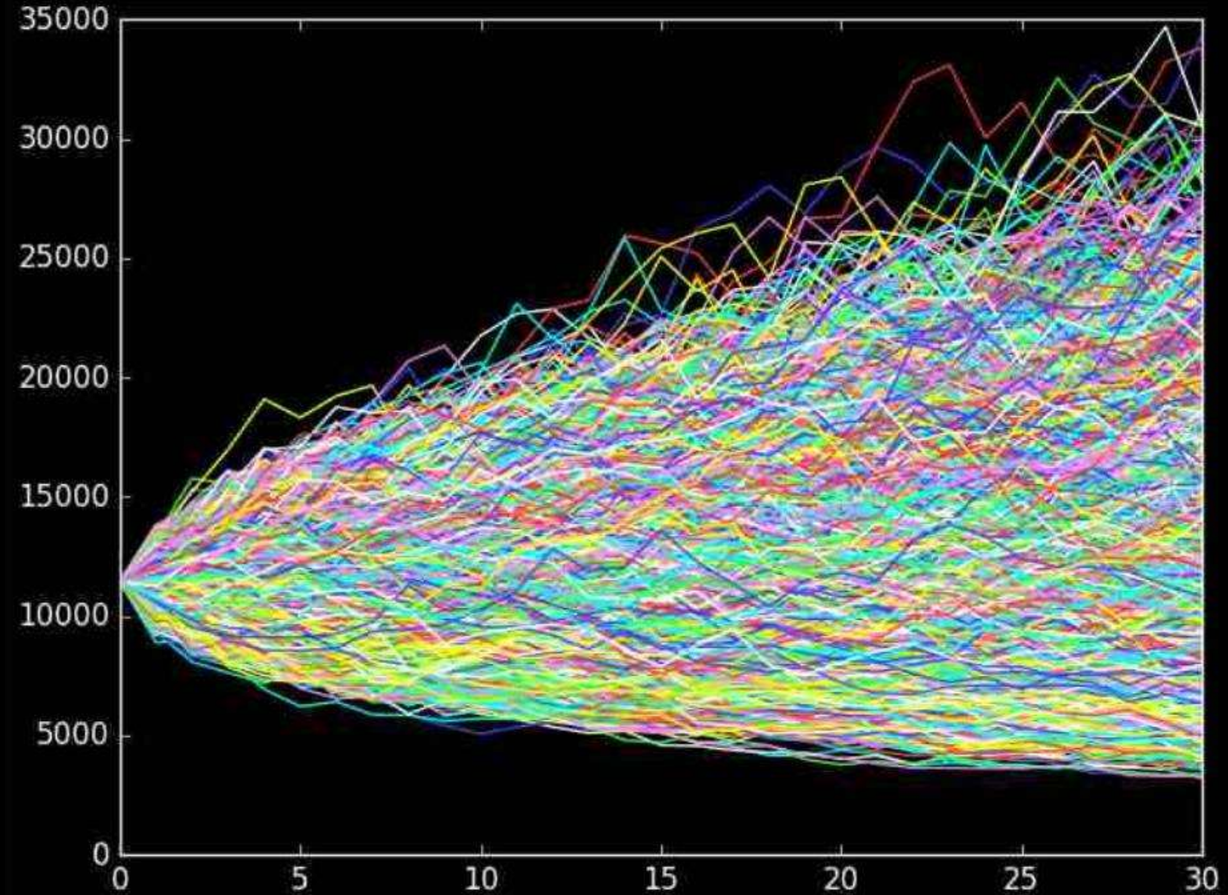
- Desarrollado por George Box y Gwilym Jenkins
- Una única ecuación pero necesita transformaciones en las variables
- Capacidad computacional
- Necesita el completado de los datos

$$Z_i = f < Z_{t-1} \ldots Z_{t-P}; \epsilon_{t-1} \ldots \epsilon_{t-p}; \epsilon_t >$$

Aplicación de los modelos

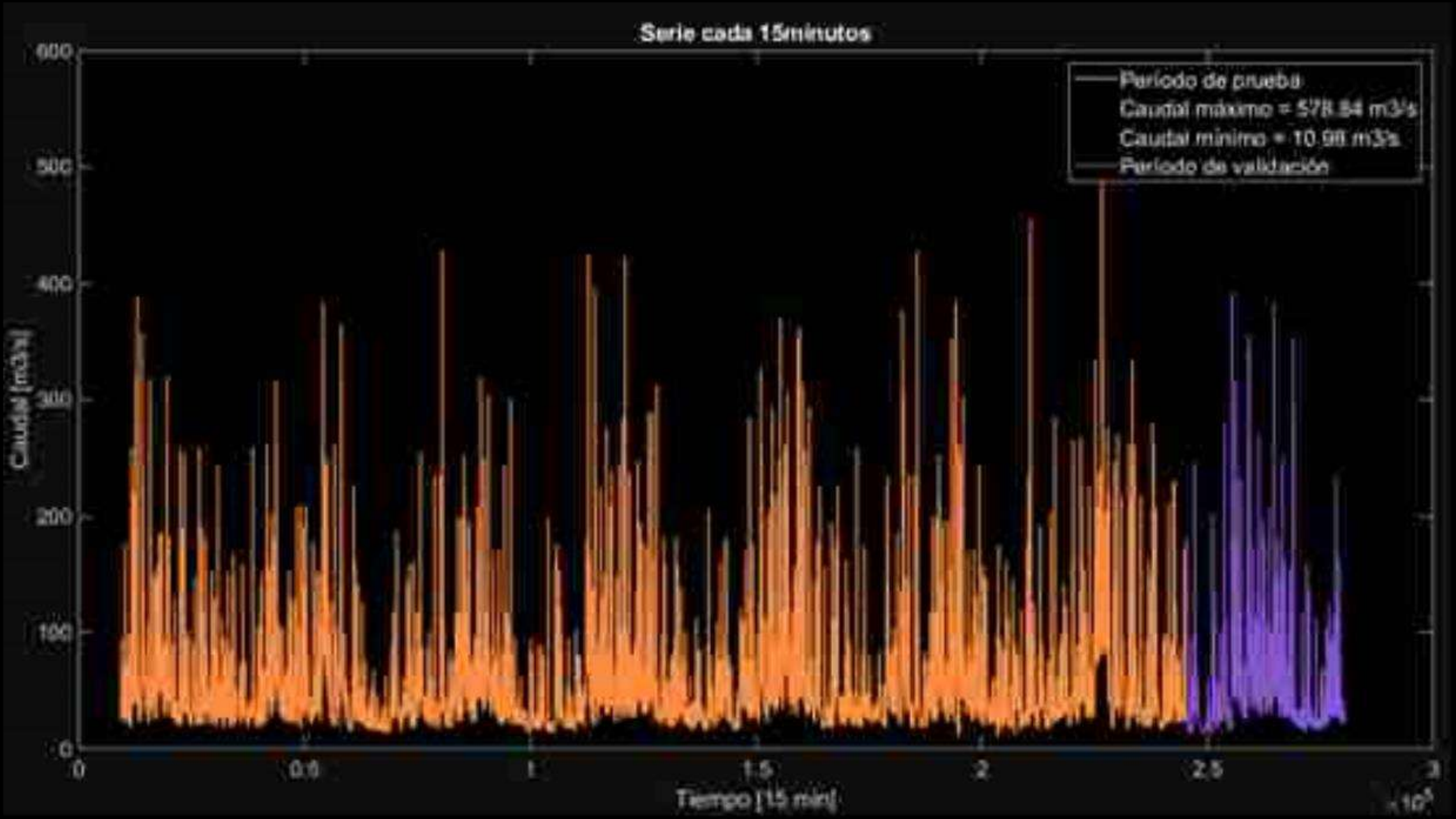
- Exportar datos a MATLAB y generar arreglos.
- Promediar datos (cuando sea necesario)
- Crear periodos de prueba y validación
- Encontrar limites inferior y superior de los caudales
- Calcular parámetros
- Pronosticar
- Graficar
- Medir desempeño

Generación de varias rutas

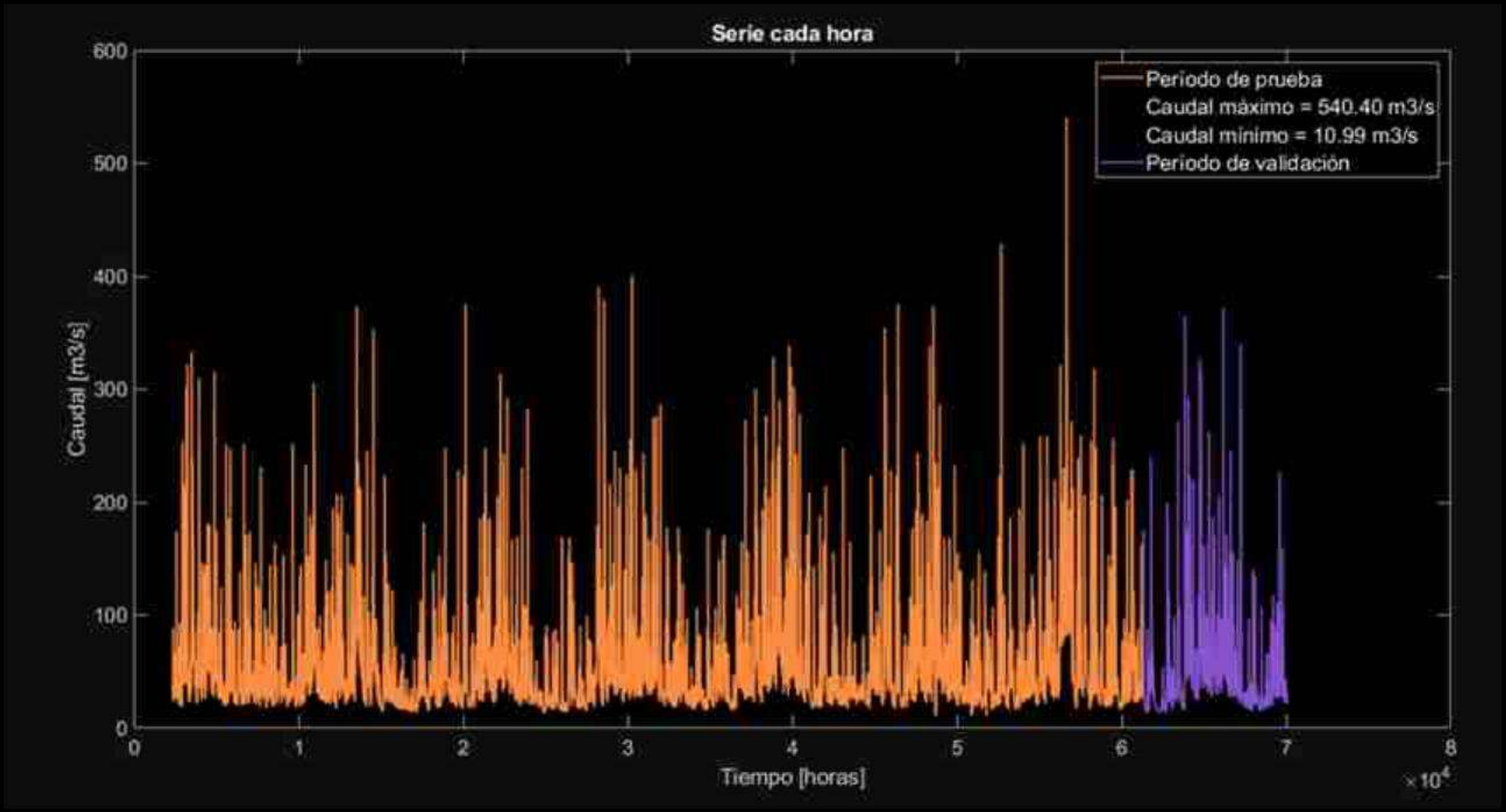


Series trabajadas

Cada 15 minutos

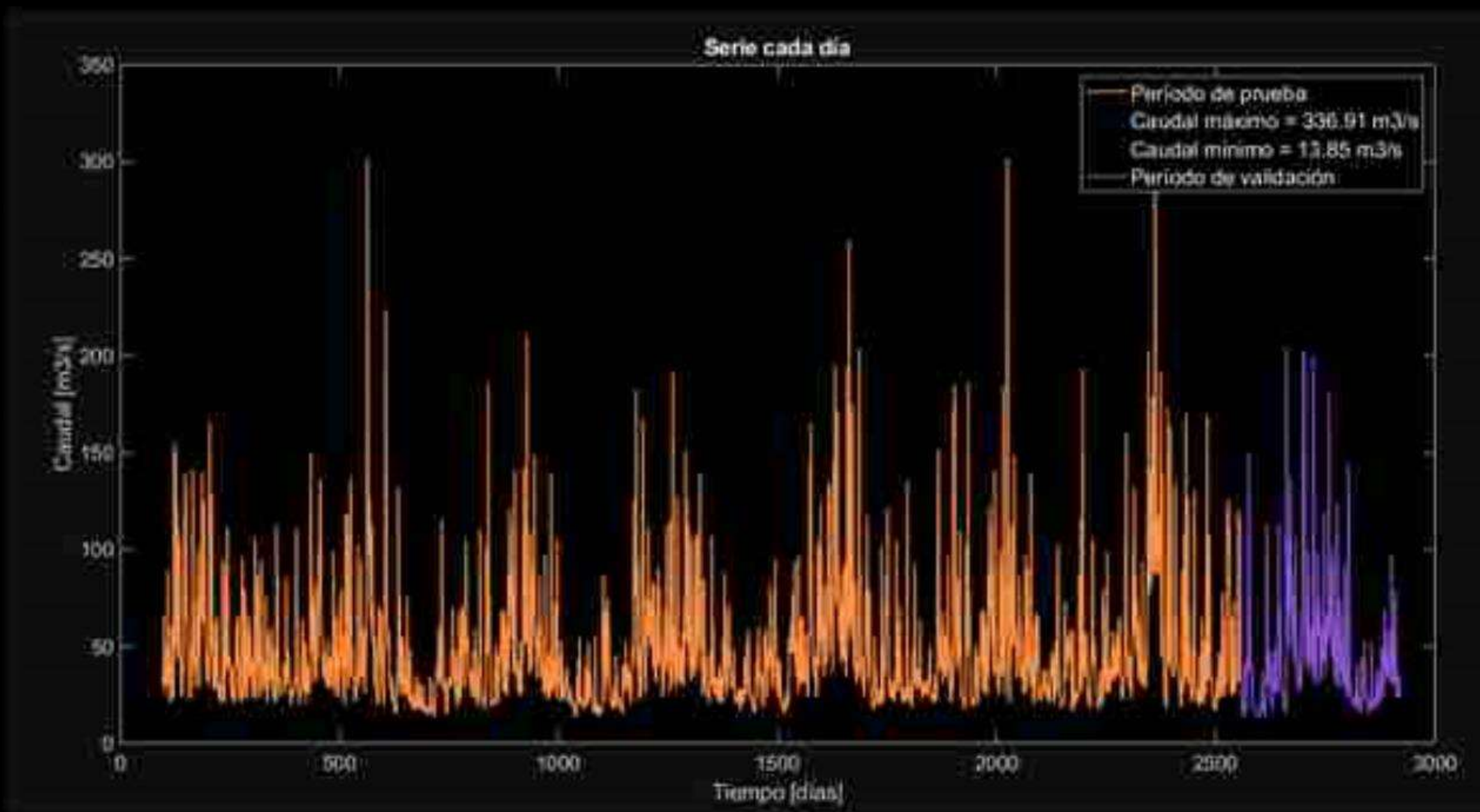


Cada 1 hora



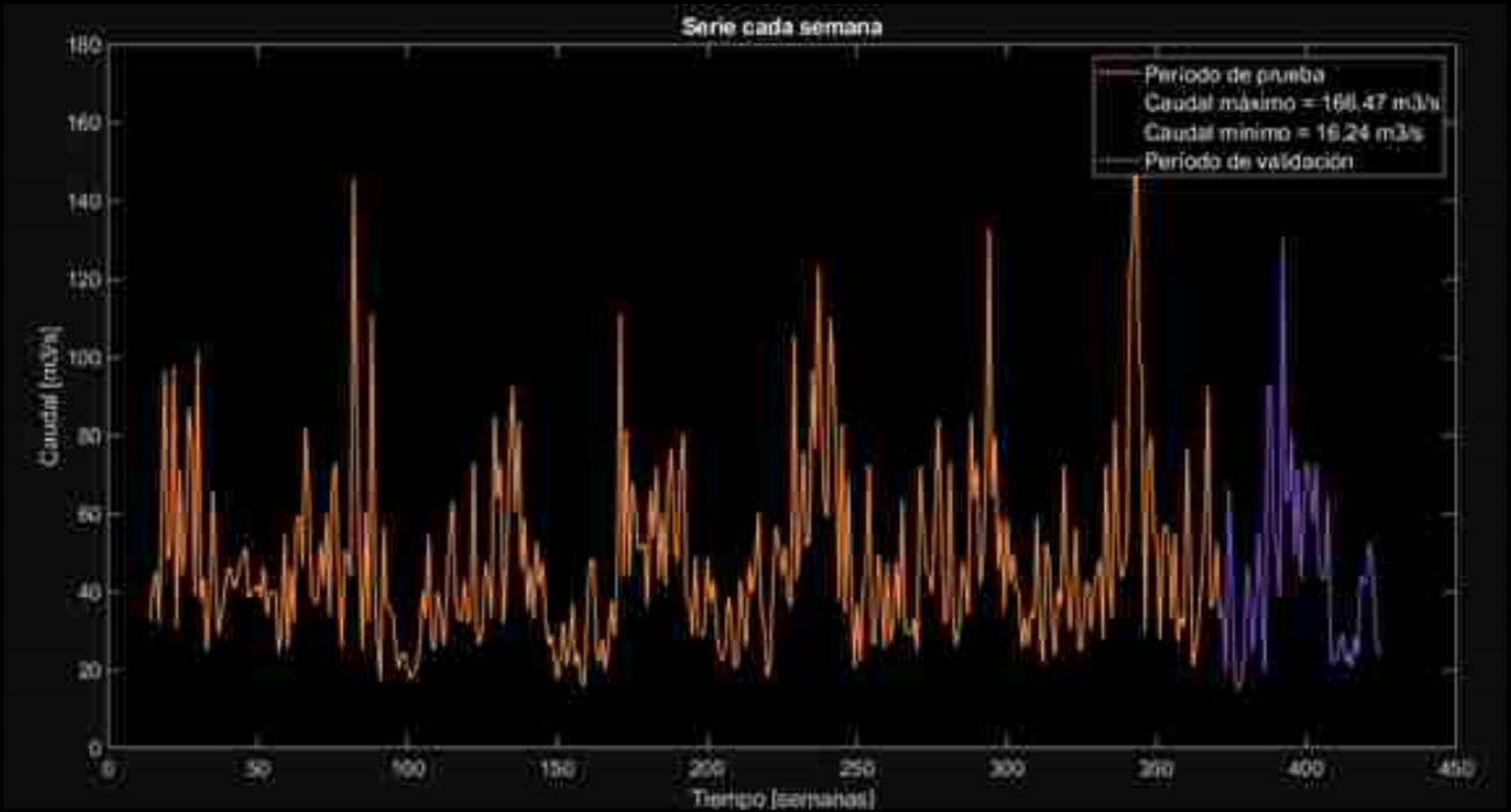
Serie cada hora
Periodo de prueba
Caudal máximo = 540.40 m3/s
Caudal mínimo = 10.99 m3/s
Periodo de validación
Caudal [m3/s]
Tiempo [horas]
×10^4
0
100
200
300
400
500
600
1
2
3
4
5
6
7
8

Cada día

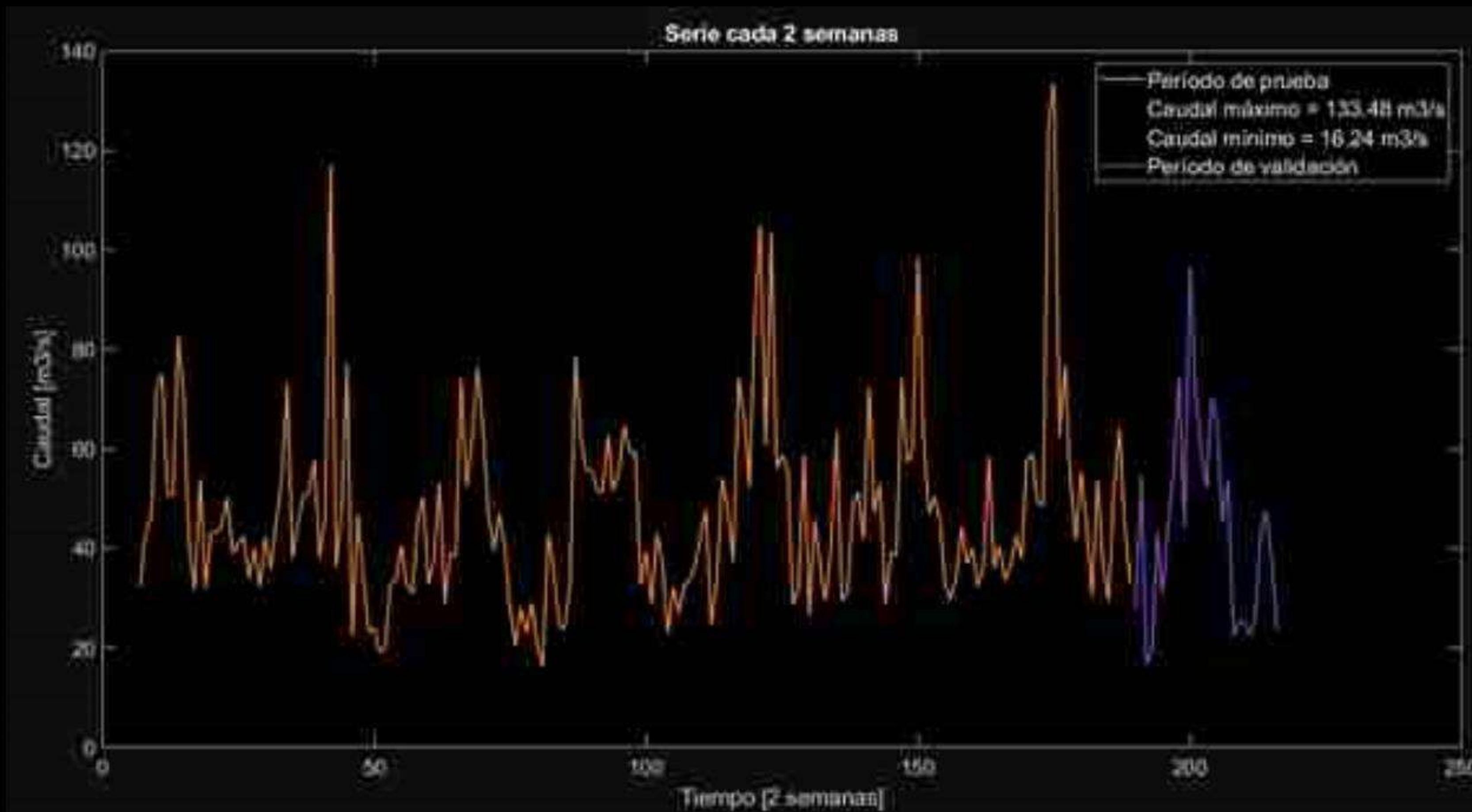


Serie cada día
Período de prueba
Caudal máximo = 336.91 m3/s
Caudal mínimo = 13.85 m3/s
Período de validación
Caudal [m3/s]
Tiempo [días]
0
50
100
150
200
250
300
350
0
500
1000
1500
2000
2500
3000

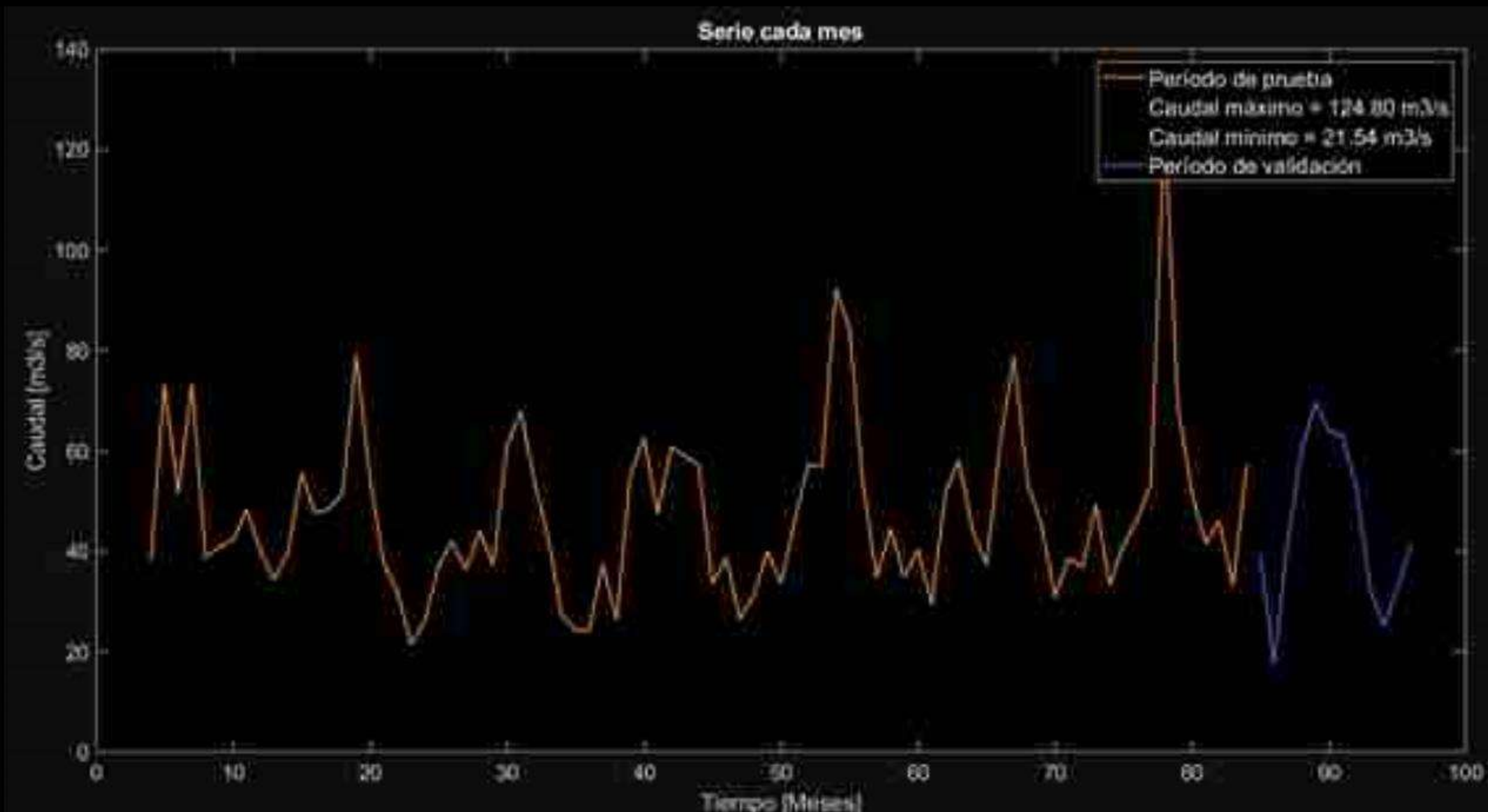
Cada 1 semana



Cada 2 semanas

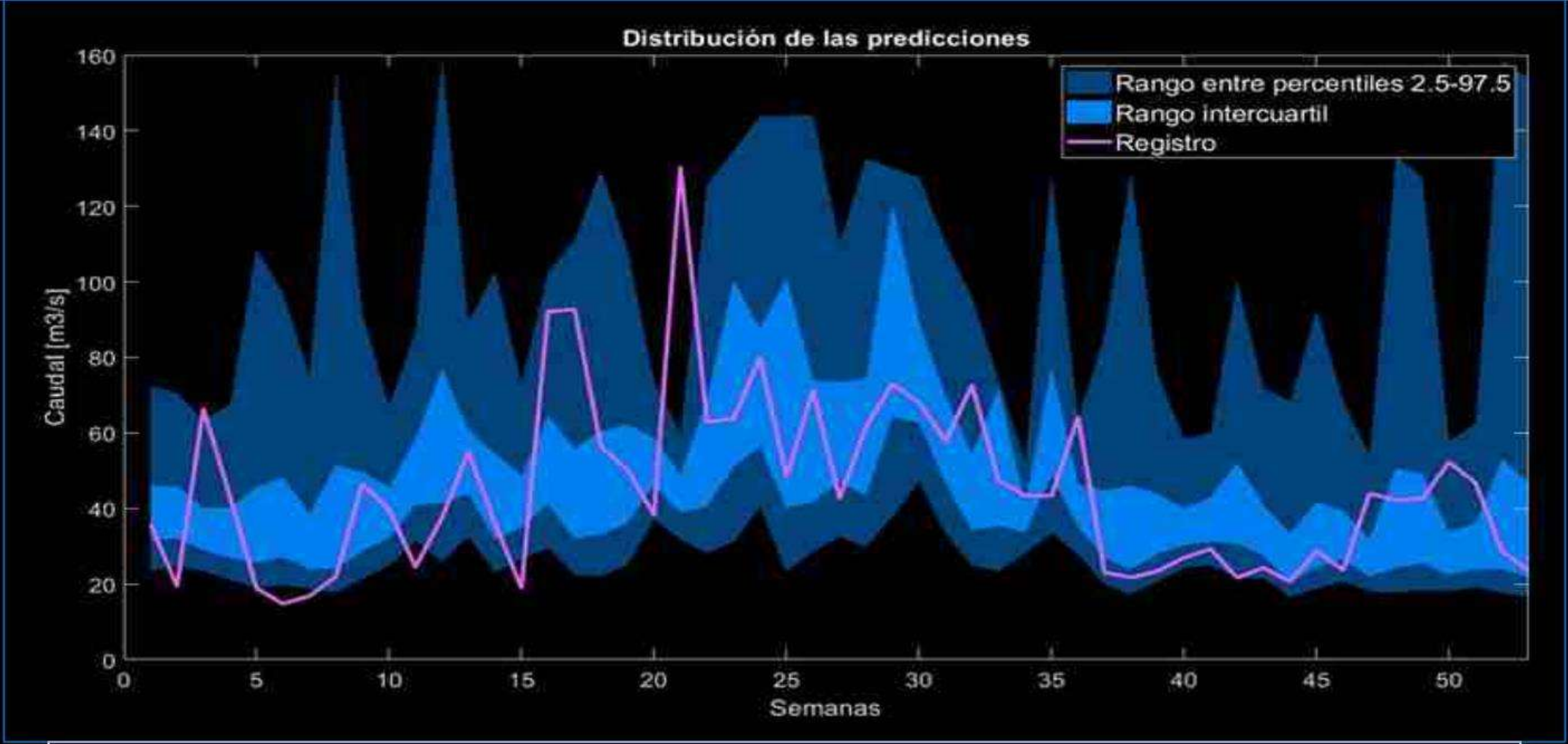


Cada mes



Serie cada mes
Período de prueba
Caudal máximo = 124.80 m3/s
Caudal mínimo = 21.54 m3/s
Período de validación
Caudal [m3/s]
Tiempo [Meses]

Resultados



Intervalos calculados

El porcentaje de puntos dentro de los intervalos se mantiene

El tamaño de los intervalos decrece conforme aumenta la frecuencia de la prediccion

Distribución ajustada

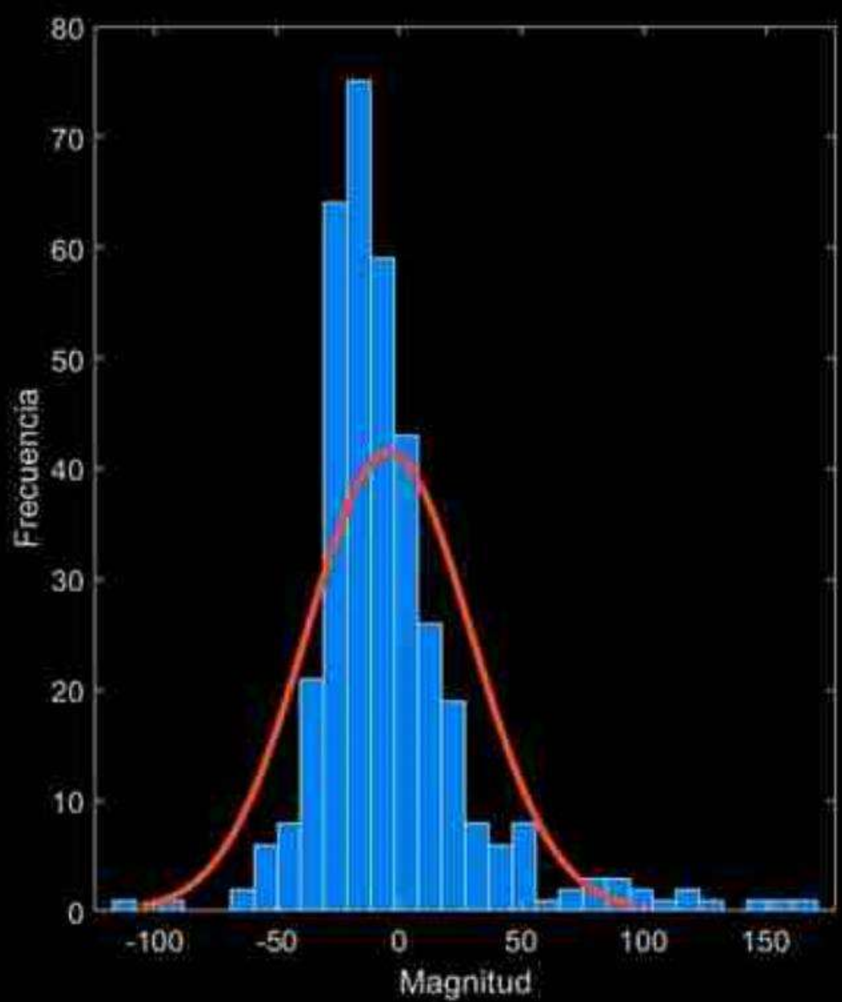


Gráfico Q-Q

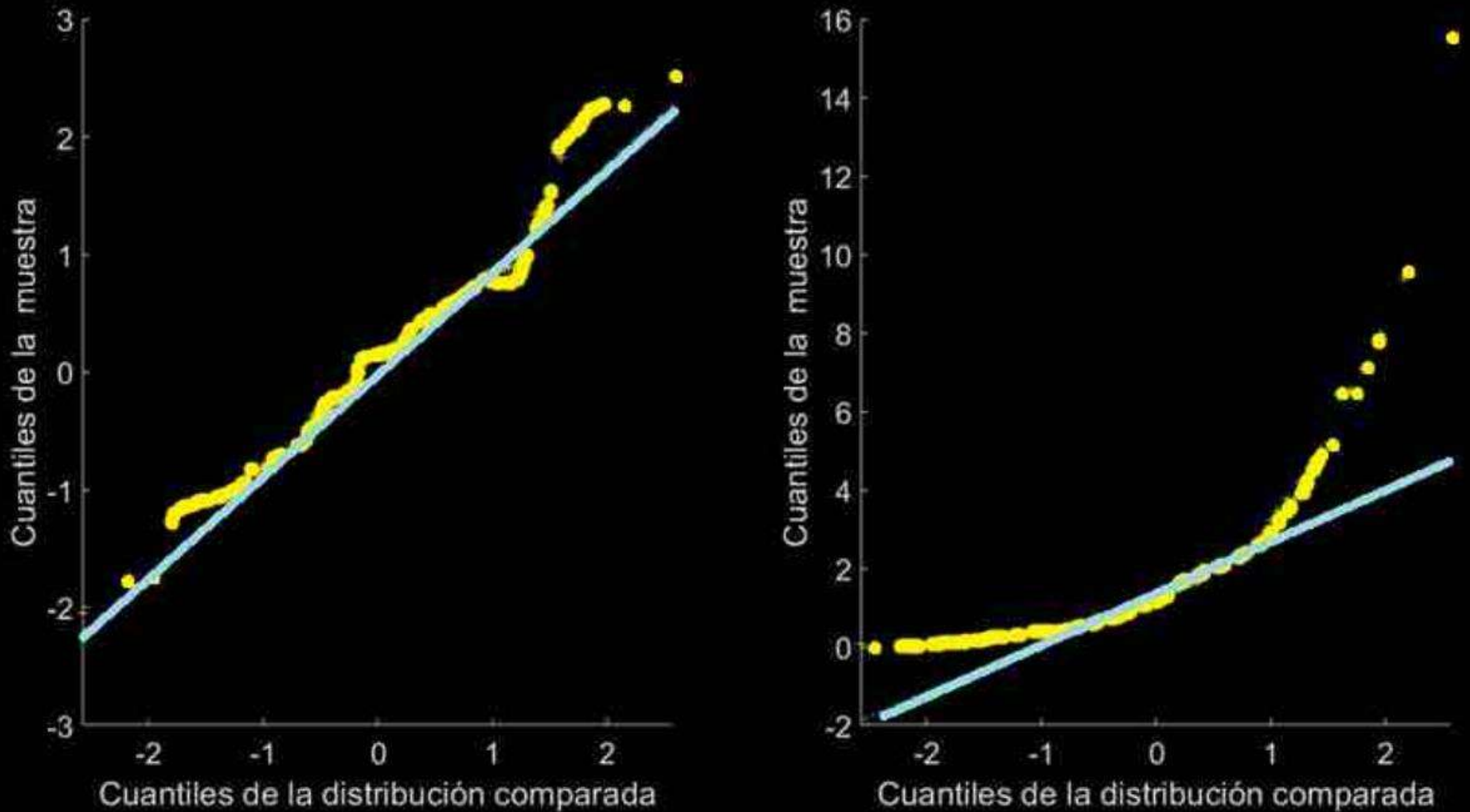
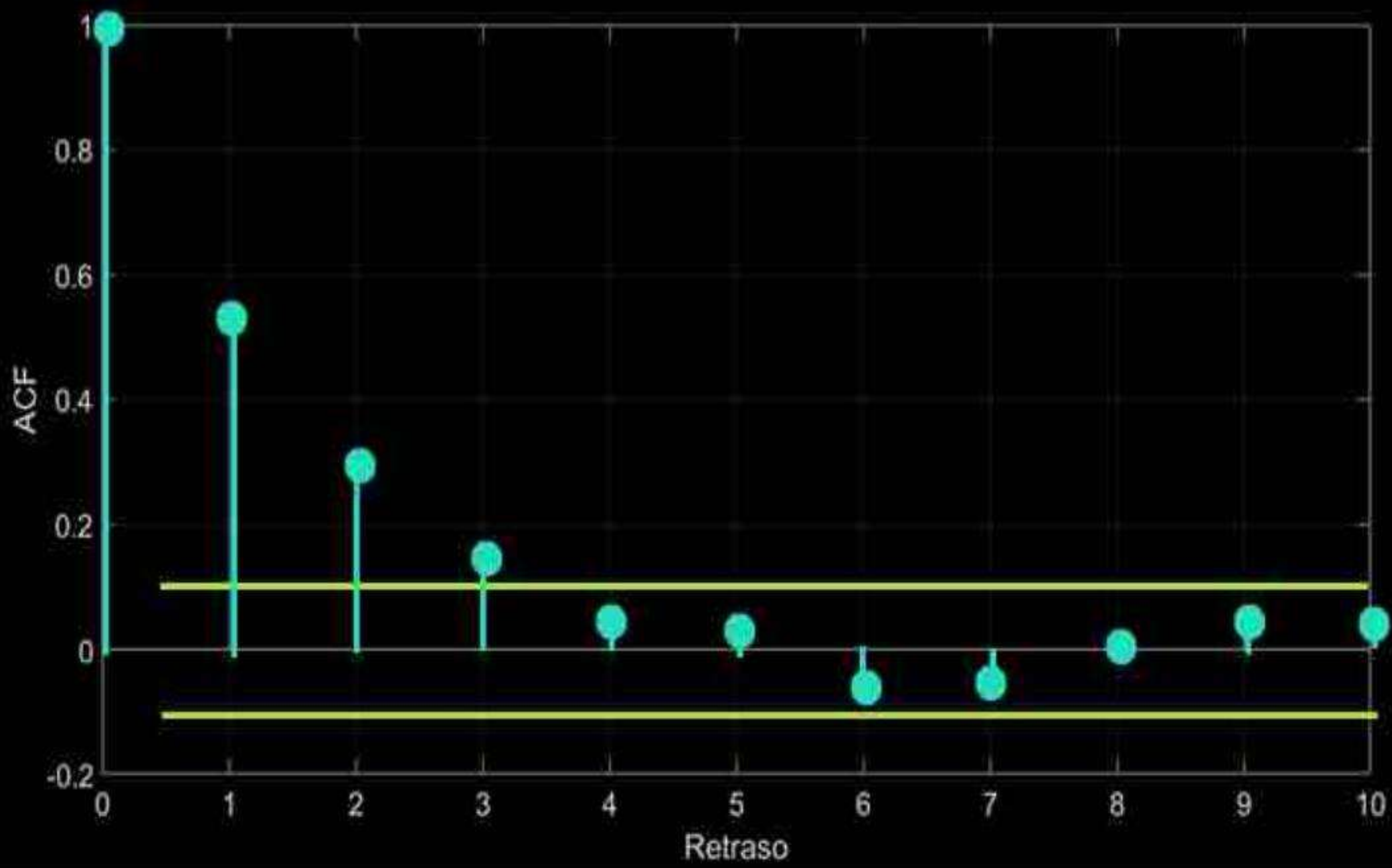

3
2
1
0
-1
-2
-3
Cuantiles de la muestra
-2
-1
0
1
2
Cuantiles de la distribución comparada
16
14
12
10
8
6
4
2
0
-2
Cuantiles de la muestra
-2
-1
0
1
2
Cuantiles de la distribución comparada

Gráfico de autocorrelación



Métricas

RMSE

$$\sqrt{\frac{1}{n}\sum e_i^2}$$

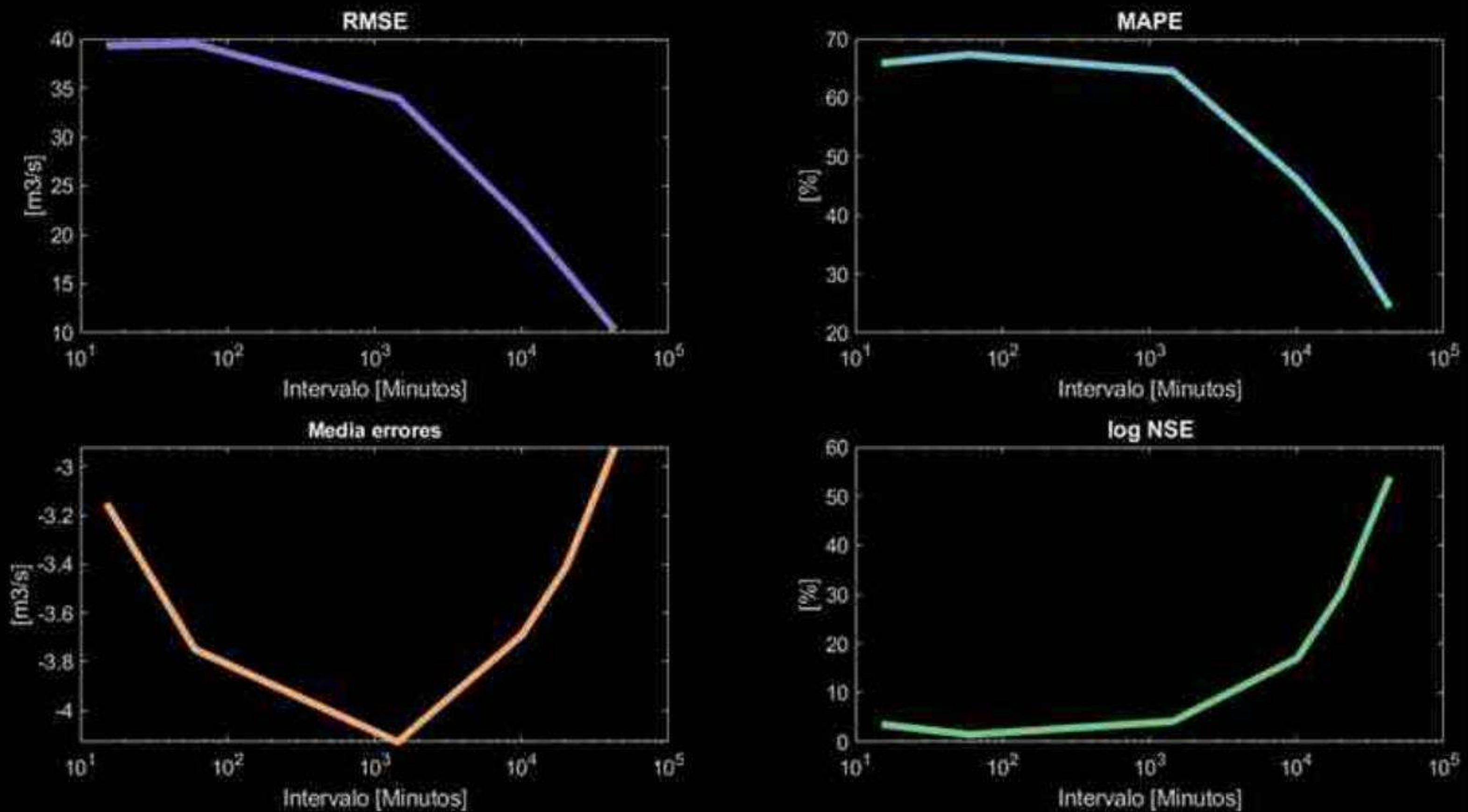
MAPE

$$\frac{1}{n}\sum \left|e_{(\%)_i}\right|$$

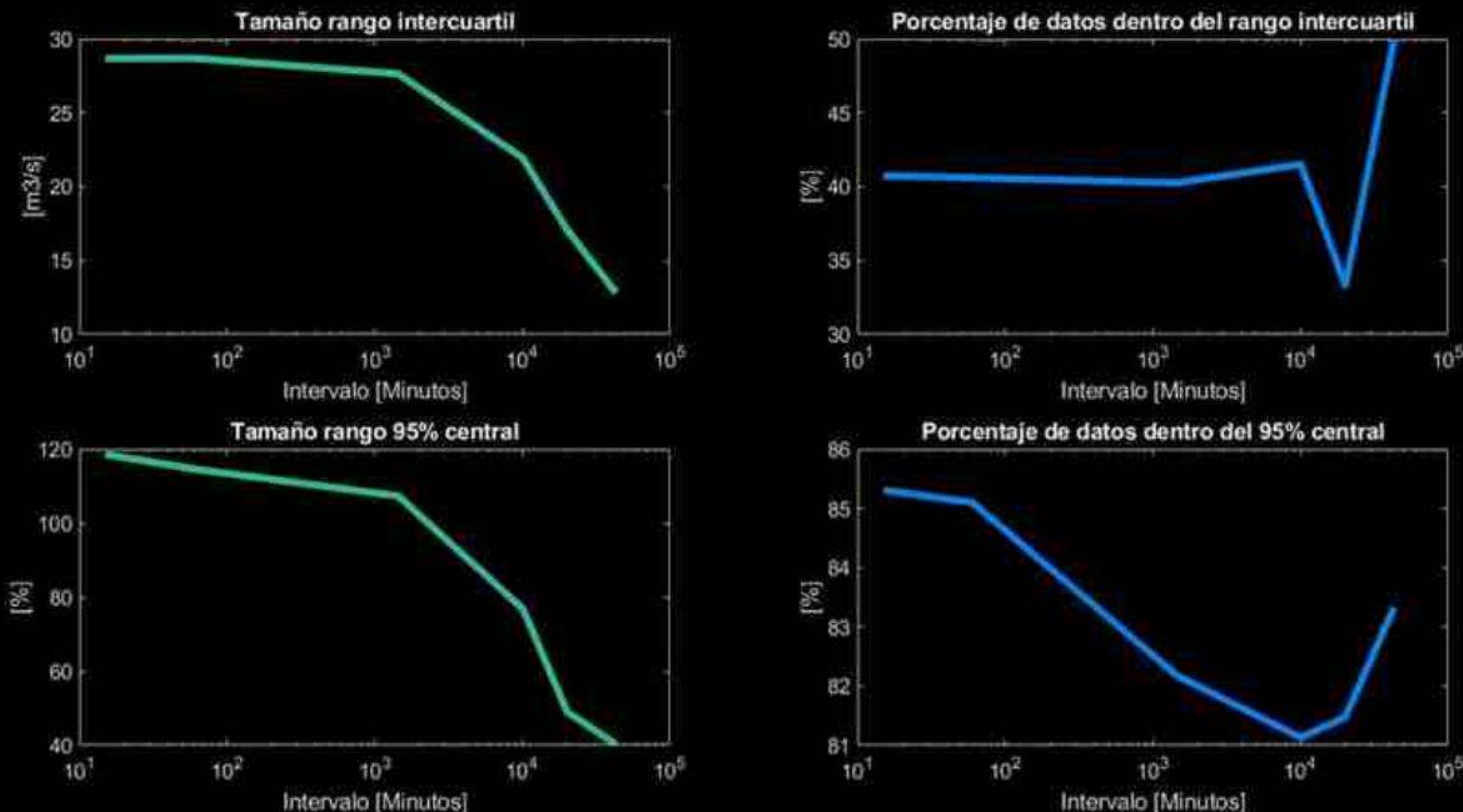
log NSE

$$1-\frac{\sum[\log(y_i)-\log(\hat{y}_i)]^2}{\sum[\log(y_i)-\log(\bar{y}_i)]^2}$$

Métricas numéricas TF



Resultados rangos TF



Diagnostico de los errores

Discretización de la serie	¿Cumplen con los supuestos de los residuos?
Modelo Thomas-Fiering	
15minutos	NO
1 hora	NO
1 día	NO
1 semana	SI
2 semanas	SI
1 mes	SI
Modelo ARIMA	
1 semana	SI
2 semanas	SI
1 mes	SI

Conclusiones

- El modelo Thomas Fiering es valido para intervalos mayores o iguales a los semanales
- El modelo ARIMA no es tan eficiente debido a la volatilidad de los datos
- La validez de los modelos se la analiza individualmente
- El registro no es lo suficientemente grande

Recomendaciones

- Incrementar los intervalos de predicción y reducir los horizontes de pronóstico
- Analizar varias alternativas
- Pronosticar con registros de mas de 15 años
- Trabajar con redes de estaciones privadas y publicas para estudiar la aplicación de modelos multivariables.