

Tarea1_Munoz_Barraza

April 30, 2025

1 Tarea 1

Nombre: José Ignacio Muñoz Barraza

Variables

Las variables tienen la siguiente descripcion:

- Date: data medida en frecuencia diaria
- Location: ubicacion del medidor
- Min_Temp: temperatura minima observada
- Max_Temp: temperatura maxima observada
- Leakage: Filtracion medida en el area
- Evaporation: Tasa de evaporacion
- Electricity: Consumo electrico KW
- Parameter#: Diferentes sensores de reportando direccion y velocidad de viento en distintos momentos del dia, asi como otras metricas relevantes.

Data: machine_failure_data.csv

```
[1]: import numpy as np
import pandas as pd
import matplotlib.pyplot as plt
import statsmodels.api as sm
import statsmodels.formula.api as smf
import sklearn
import scipy
from scipy.stats import nbinom
import seaborn as sns
from statsmodels.iolib.summary2 import summary_col

import warnings
warnings.filterwarnings("ignore")

%matplotlib inline
```

1.0.1 Pregunta 1

```
[2]: # lectura de data
df = pd.read_csv("machine_failure_data.csv")

print('----- PRIMERAS FILAS -----')
print(df.head())
```

```
----- PRIMERAS FILAS -----
   Date Location Min_Temp Max_Temp Leakage Evaporation Electricity \
0 12/1/2008      3    13.4    22.9     0.6          NaN          NaN
1 12/2/2008      3     7.4    25.1     0.0          NaN          NaN
2 12/3/2008      3    12.9    25.7     0.0          NaN          NaN
3 12/4/2008      3     9.2    28.0     0.0          NaN          NaN
4 12/5/2008      3    17.5    32.3     1.0          NaN          NaN

   Parameter1_Dir Parameter1_Speed Parameter2_9am ... Parameter3_3pm \
0                W             44.0              W ...           24.0
1             WNW             44.0             NNW ...           22.0
2             WSW             46.0              W ...           26.0
3              NE             24.0             SE ...            9.0
4                W             41.0             ENE ...           20.0

   Parameter4_9am Parameter4_3pm Parameter5_9am Parameter5_3pm \
0             71.0           22.0          1007.7          1007.1
1             44.0           25.0          1010.6          1007.8
2             38.0           30.0          1007.6          1008.7
3             45.0           16.0          1017.6          1012.8
4             82.0           33.0          1010.8          1006.0

   Parameter6_9am Parameter6_3pm Parameter7_9am Parameter7_3pm \
0              8.0            NaN            16.9            21.8
1             NaN            NaN            17.2            24.3
2             NaN             2.0            21.0            23.2
3             NaN            NaN            18.1            26.5
4              7.0             8.0            17.8            29.7

   Failure_today
0              No
1              No
2              No
3              No
4              No

[5 rows x 22 columns]
```

```
[3]: # Cantidad de parámetros, columnas, aquí ya muestra el dtype
print('---- INFORMACIÓN (PARÁMETROS) ----')
```

```
print(df.info())

# Datos faltantes
print('---- INFORMACIÓN (PARÁMETROS) ----')
df.isnull().sum()
```

```
---- INFORMACIÓN (PARÁMETROS) ----
<class 'pandas.core.frame.DataFrame'>
RangeIndex: 142193 entries, 0 to 142192
Data columns (total 22 columns):
#   Column                Non-Null Count  Dtype
---  -
0   Date                  142193 non-null object
1   Location              142193 non-null int64
2   Min_Temp              141556 non-null float64
3   Max_Temp              141871 non-null float64
4   Leakage               140787 non-null float64
5   Evaporation           81350 non-null  float64
6   Electricity           74377 non-null  float64
7   Parameter1_Dir        132863 non-null object
8   Parameter1_Speed      132923 non-null float64
9   Parameter2_9am        132180 non-null object
10  Parameter2_3pm        138415 non-null object
11  Parameter3_9am        140845 non-null float64
12  Parameter3_3pm        139563 non-null float64
13  Parameter4_9am        140419 non-null float64
14  Parameter4_3pm        138583 non-null float64
15  Parameter5_9am        128179 non-null float64
16  Parameter5_3pm        128212 non-null float64
17  Parameter6_9am        88536 non-null  float64
18  Parameter6_3pm        85099 non-null  float64
19  Parameter7_9am        141289 non-null float64
20  Parameter7_3pm        139467 non-null float64
21  Failure_today         140787 non-null object
dtypes: float64(16), int64(1), object(5)
memory usage: 23.9+ MB
None
---- INFORMACIÓN (PARÁMETROS) ----
```

```
[3]: Date                0
     Location            0
     Min_Temp           637
     Max_Temp           322
     Leakage            1406
     Evaporation        60843
     Electricity        67816
     Parameter1_Dir     9330
```

```

Parameter1_Speed      9270
Parameter2_9am        10013
Parameter2_3pm        3778
Parameter3_9am        1348
Parameter3_3pm        2630
Parameter4_9am        1774
Parameter4_3pm        3610
Parameter5_9am        14014
Parameter5_3pm        13981
Parameter6_9am        53657
Parameter6_3pm        57094
Parameter7_9am         904
Parameter7_3pm        2726
Failure_today         1406
dtype: int64

```

```

[4]: # vemos un resumen de estadísticas básicas para las columnas numéricas para
      ↪ observar que se tiene
df.describe()

```

```

[4]:
count      Location      Min_Temp      Max_Temp      Leakage \
mean      24.740655      12.186400      23.226784      2.349974
std       14.237503       6.403283       7.117618      8.465173
min        1.000000      -8.500000      -4.800000      0.000000
25%       12.000000       7.600000      17.900000      0.000000
50%       25.000000      12.000000      22.600000      0.000000
75%       37.000000      16.800000      28.200000      0.800000
max       49.000000      33.900000      48.100000     371.000000

```

```

count      Evaporation      Electricity      Parameter1_Speed      Parameter3_9am \
mean        5.469824        7.624853         39.984292         14.001988
std         4.188537        3.781525         13.588801         8.893337
min         0.000000        0.000000          6.000000         0.000000
25%         2.600000        4.900000         31.000000         7.000000
50%         4.800000        8.500000         39.000000        13.000000
75%         7.400000       10.600000         48.000000        19.000000
max        145.000000       14.500000        135.000000       130.000000

```

```

count      Parameter3_3pm      Parameter4_9am      Parameter4_3pm      Parameter5_9am \
mean        18.637576        68.843810         51.482606        1017.653758
std         8.803345        19.051293         20.797772         7.105476
min         0.000000        0.000000          0.000000        980.500000
25%         13.000000        57.000000         37.000000        1012.900000
50%         19.000000        70.000000         52.000000        1017.600000

```

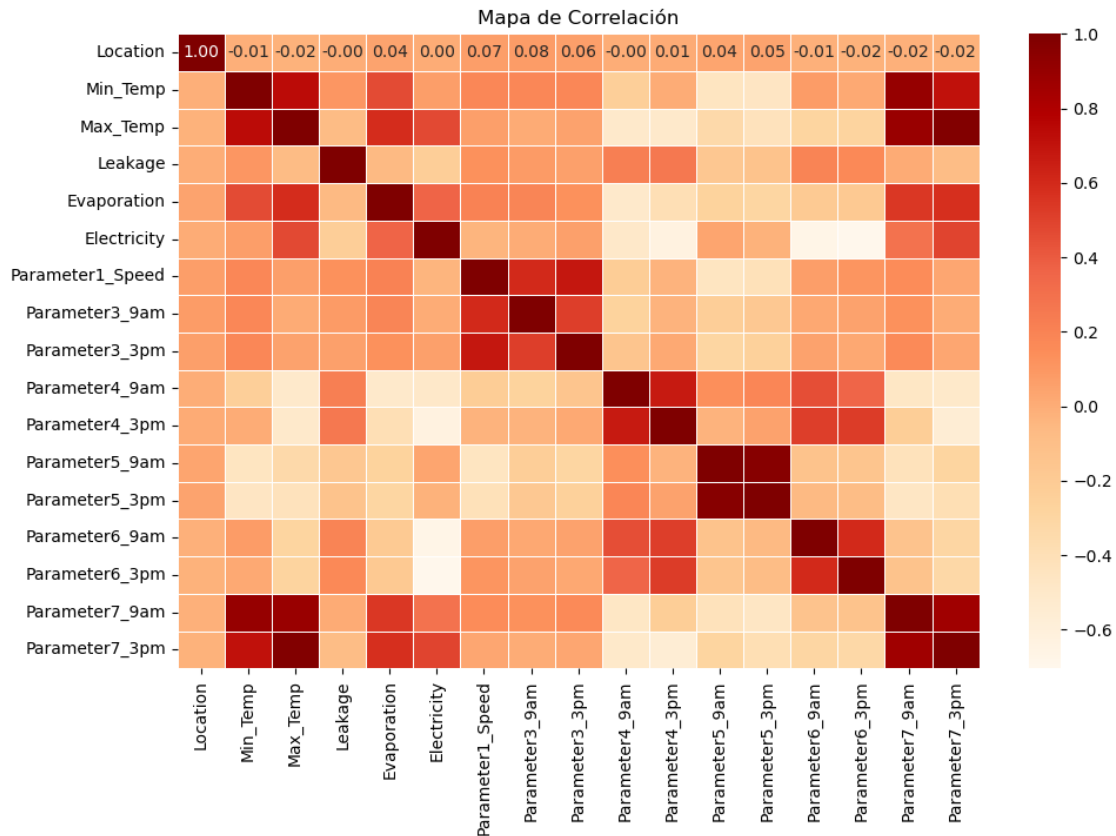
75%	24.000000	83.000000	66.000000	1022.400000
max	87.000000	100.000000	100.000000	1041.000000

	Parameter5_3pm	Parameter6_9am	Parameter6_3pm	Parameter7_9am \
count	128212.000000	88536.000000	85099.000000	141289.000000
mean	1015.258204	4.437189	4.503167	16.987509
std	7.036677	2.887016	2.720633	6.492838
min	977.100000	0.000000	0.000000	-7.200000
25%	1010.400000	1.000000	2.000000	12.300000
50%	1015.200000	5.000000	5.000000	16.700000
75%	1020.000000	7.000000	7.000000	21.600000
max	1039.600000	9.000000	9.000000	40.200000

	Parameter7_3pm
count	139467.000000
mean	21.687235
std	6.937594
min	-5.400000
25%	16.600000
50%	21.100000
75%	26.400000
max	46.700000

```
[5]: # Matriz de correlación para variables numéricas
corr_matrix = df.select_dtypes(include=['float64', 'int64']).corr()

# Gráfico de calor de la matriz de correlación (con visualización mediante un
↳heatmap)
# Cercano a 1 es fuerte relación y cercano a -1 relación inversa
plt.figure(figsize=(11, 7))
sns.heatmap(corr_matrix, annot=True, cmap='OrRd', fmt=".2f", linewidths=0.4)
plt.title('Mapa de Correlación')
plt.show()
```



```
[6]: # Limpieza

# Primero, se convierten los Date a datetime
df['Date'] = pd.to_datetime(df['Date'])
# copia del dataframe
df_clean = df.copy()

# Ver tipos de datos resumidos
print("---- Tipos de datos ----")
print(df_clean.dtypes)

# Recuento de nulos
print("\n---- Datos faltantes por columna ----")
print(df_clean.isnull().sum().sort_values(ascending=False))

# Se eliminan las columnas con más de un 30% de val. nulos
threshold = 0.3 * len(df_clean)
cols_to_drop = df_clean.columns[df_clean.isnull().sum() > threshold]
print(f"\n---> Columnas eliminadas (>30%): {list(cols_to_drop)}")
df_clean.drop(columns=cols_to_drop, inplace=True)
```

```

# Relleno de nulos que para no sobrar, usando interpolación
df_clean = df_clean.interpolate(method='linear').dropna()

# Verificamos que se mantuvo la variable dependiente
print("---> ¿DataFrame con 'Failure_today'?:", 'Failure_today' in df_clean.
      ↪columns)

# Como quedaria nuestra data para ser trabajada (vemos algo solamente)
print(f"---> La data final posee ({df_clean.shape[0]}) filas y ({df_clean.
      ↪shape[1]}) columnas")
df_clean.head()

```

---- Tipos de datos ----

```

Date                datetime64[ns]
Location             int64
Min_Temp             float64
Max_Temp             float64
Leakage              float64
Evaporation          float64
Electricity          float64
Parameter1_Dir       object
Parameter1_Speed     float64
Parameter2_9am       object
Parameter2_3pm       object
Parameter3_9am       float64
Parameter3_3pm       float64
Parameter4_9am       float64
Parameter4_3pm       float64
Parameter5_9am       float64
Parameter5_3pm       float64
Parameter6_9am       float64
Parameter6_3pm       float64
Parameter7_9am       float64
Parameter7_3pm       float64
Failure_today        object
dtype: object

```

---- Datos faltantes por columna ----

```

Electricity          67816
Evaporation          60843
Parameter6_3pm       57094
Parameter6_9am       53657
Parameter5_9am       14014
Parameter5_3pm       13981
Parameter2_9am       10013
Parameter1_Dir       9330

```

```

Parameter1_Speed      9270
Parameter2_3pm        3778
Parameter4_3pm        3610
Parameter7_3pm        2726
Parameter3_3pm        2630
Parameter4_9am        1774
Failure_today         1406
Leakage               1406
Parameter3_9am        1348
Parameter7_9am        904
Min_Temp              637
Max_Temp              322
Location              0
Date                  0
dtype: int64

```

```

---> Columnas eliminadas (>30%): ['Evaporation', 'Electricity',
'Parameter6_9am', 'Parameter6_3pm']
---> ¿DataFrame con 'Failure_today'? : True
---> La data final posee (123710) filas y (18) columnas

```

```

[6]:      Date  Location  Min_Temp  Max_Temp  Leakage  Parameter1_Dir  \
0  2008-12-01         3      13.4      22.9      0.6              W
1  2008-12-02         3       7.4      25.1      0.0             WNW
2  2008-12-03         3      12.9      25.7      0.0             WSW
3  2008-12-04         3       9.2      28.0      0.0              NE
4  2008-12-05         3      17.5      32.3      1.0              W

```

```

      Parameter1_Speed  Parameter2_9am  Parameter2_3pm  Parameter3_9am  \
0              44.0              W      WNW      20.0
1              44.0             NNW      WSW      4.0
2              46.0              W      WSW      19.0
3              24.0             SE       E      11.0
4              41.0             ENE      NW       7.0

```

```

      Parameter3_3pm  Parameter4_9am  Parameter4_3pm  Parameter5_9am  \
0              24.0              71.0              22.0      1007.7
1              22.0              44.0              25.0      1010.6
2              26.0              38.0              30.0      1007.6
3               9.0              45.0              16.0      1017.6
4              20.0              82.0              33.0      1010.8

```

```

      Parameter5_3pm  Parameter7_9am  Parameter7_3pm  Failure_today
0          1007.1          16.9          21.8          No
1          1007.8          17.2          24.3          No
2          1008.7          21.0          23.2          No
3          1012.8          18.1          26.5          No

```


4	1006.0	17.8	29.7	No
---	--------	------	------	----

```
[7]: # Como el failure today es si o no, debemos verificar que la variable tenga
      ↪ formato binario.
df_clean['Failure_today'] = df_clean['Failure_today'].map({'Yes': 1, 'No': 0})
# Observamos como serian.
print("Valores únicos en 'Failure_today':", df_clean['Failure_today'].unique())
```

Valores únicos en 'Failure_today': [0 1]

```
[8]: # Volvemos a partir del DataFrame original
df_clean = df.copy()
df_clean['Date'] = pd.to_datetime(df_clean['Date'])

# Columnas seleccionadas
columnas_seleccionadas = [
    'Min_Temp', 'Max_Temp', 'Evaporation', 'Electricity',
    'Parameter1_Speed',
    'Parameter2_9am', 'Parameter2_3pm',
    'Parameter3_9am', 'Parameter3_3pm',
    'Parameter4_9am', 'Parameter4_3pm',
    'Parameter5_9am', 'Parameter5_3pm',
    'Parameter7_9am', 'Parameter7_3pm',
    'Failure_today', 'Parameter1_Dir', 'Date'
]

# Filtramos las que existen
df_clean = df_clean[[col for col in columnas_seleccionadas if col in df_clean.
    ↪columns]].copy()

# Convertimos Failure_today a binario numérico
df_clean['Failure_today'] = df_clean['Failure_today'].map({'Yes': 1, 'No': 0})

# Creamos variables indicadoras de datos faltantes
df_clean['Evaporation_missing'] = df_clean['Evaporation'].isnull().astype(int)
df_clean['Electricity_missing'] = df_clean['Electricity'].isnull().astype(int)

# Imputación
for col in df_clean.columns:
    if col != 'Failure_today' and df_clean[col].dtype in ['float64', 'int64']:
        df_clean[col] = df_clean[col].fillna(df_clean[col].mean())

# Agrupamos dirección del viento
def agrupar_direccion(dir_texto):
    if pd.isnull(dir_texto):
        return np.nan
    if dir_texto in ['N', 'NNW', 'NNE']:
```

```

        return 'Norte'
    elif dir_texto in ['S', 'SSW', 'SSE']:
        return 'Sur'
    elif dir_texto in ['E', 'ENE', 'ESE']:
        return 'Este'
    elif dir_texto in ['W', 'WNW', 'WSW']:
        return 'Oeste'
    else:
        return 'Otro'

df_clean['Wind_Direction'] = df_clean['Parameter1_Dir'].apply(agrupar_direccion)
wind_dummies = pd.get_dummies(df_clean['Wind_Direction'], prefix='Wind',
                               drop_first=True)
df_clean = pd.concat([df_clean, wind_dummies], axis=1)

# Eliminamos la original de texto
df_clean.drop(columns=['Parameter1_Dir'], inplace=True)

# Estandarizamos variables numéricas
from sklearn.preprocessing import StandardScaler

numericas = df_clean.select_dtypes(include=['float64', 'int64']).
    drop(columns=['Failure_today']).columns
scaler = StandardScaler()
df_clean[numericas] = scaler.fit_transform(df_clean[numericas])

```

```

[9]: # Creamos estaciones
df_clean['Season'] = df_clean['Date'].dt.month.map({
    12: 'Verano', 1: 'Verano', 2: 'Verano',
    3: 'Otoño', 4: 'Otoño', 5: 'Otoño',
    6: 'Invierno', 7: 'Invierno', 8: 'Invierno',
    9: 'Primavera', 10: 'Primavera', 11: 'Primavera'
})

```

```

[10]: # Revisamos las distribuciones

# Variables numéricas a visualizar (que sacamos antes)
variables_numericas = ['Min_Temp', 'Max_Temp', 'Evaporation', 'Electricity',
                       'Parameter1_Speed']

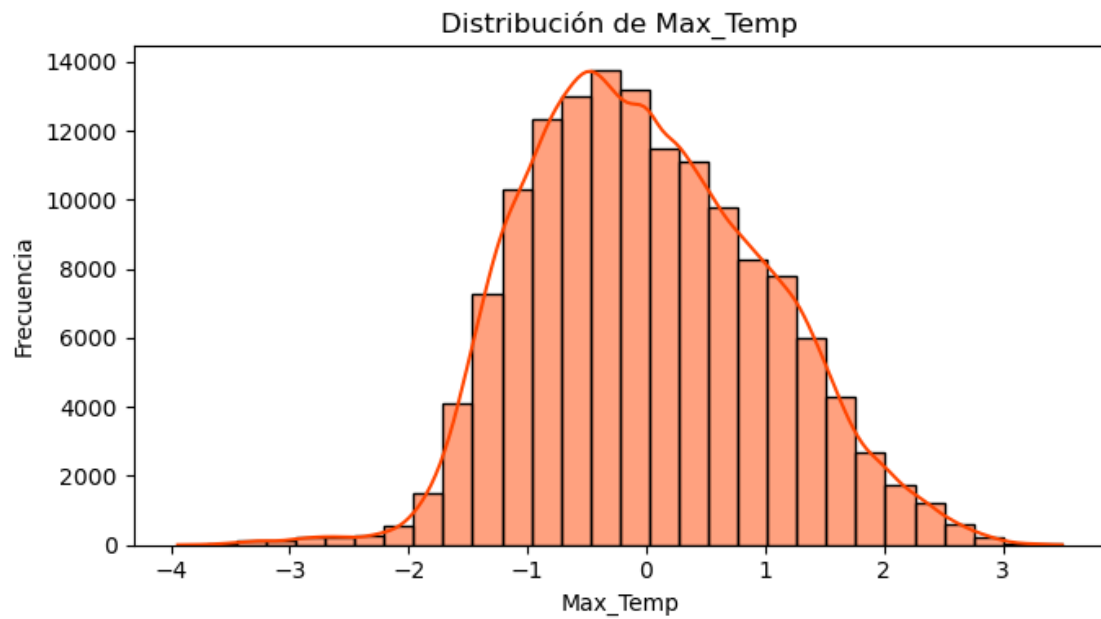
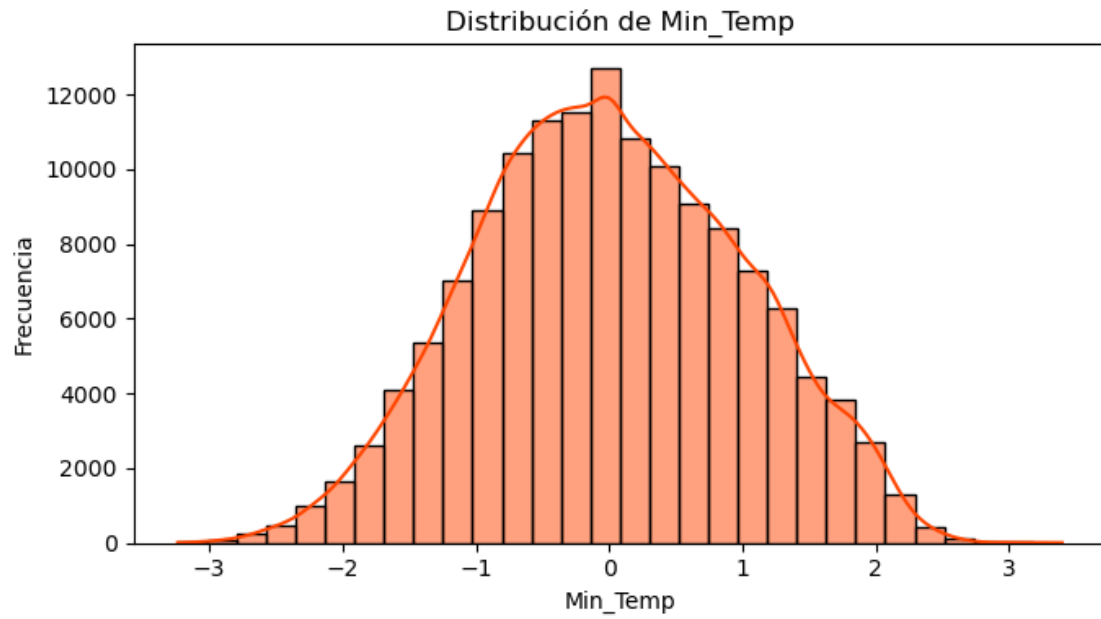
for var in variables_numericas:
    plt.figure(figsize=(7, 4))
    sns.histplot(data=df_clean, x=var, kde=True, bins=30, color='orangered')

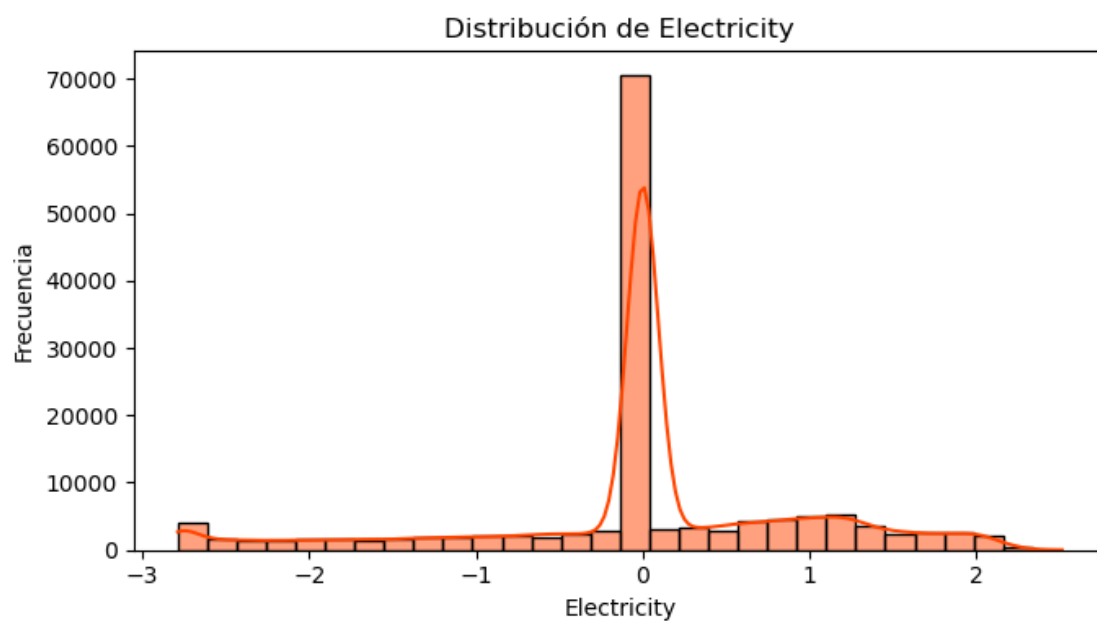
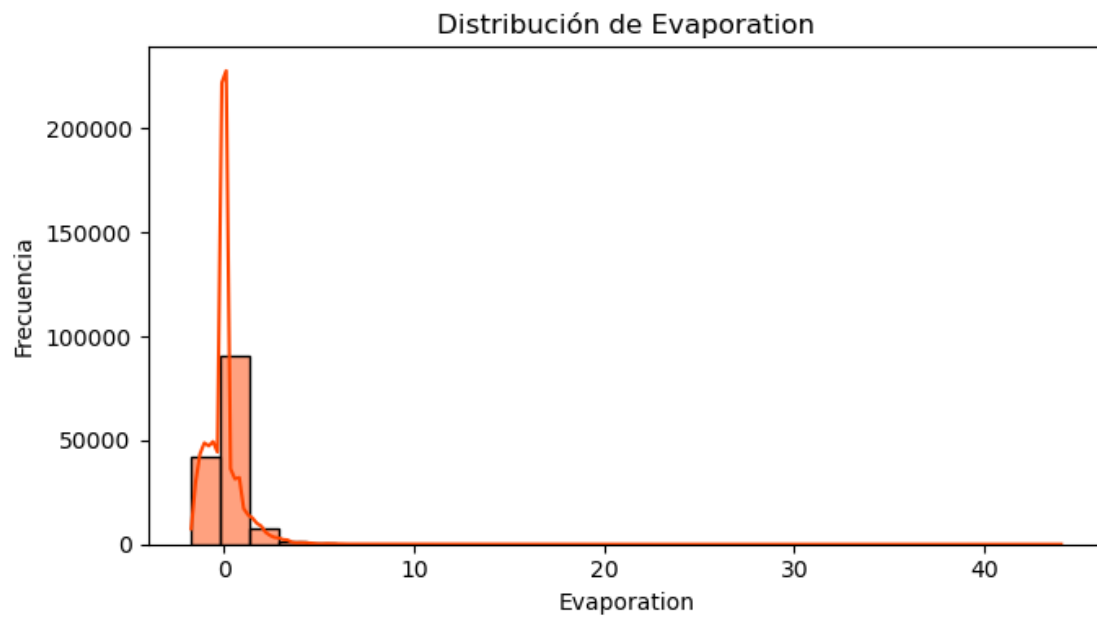
    plt.title(f'Distribución de {var}')
    plt.xlabel(var)
    plt.ylabel('Frecuencia')

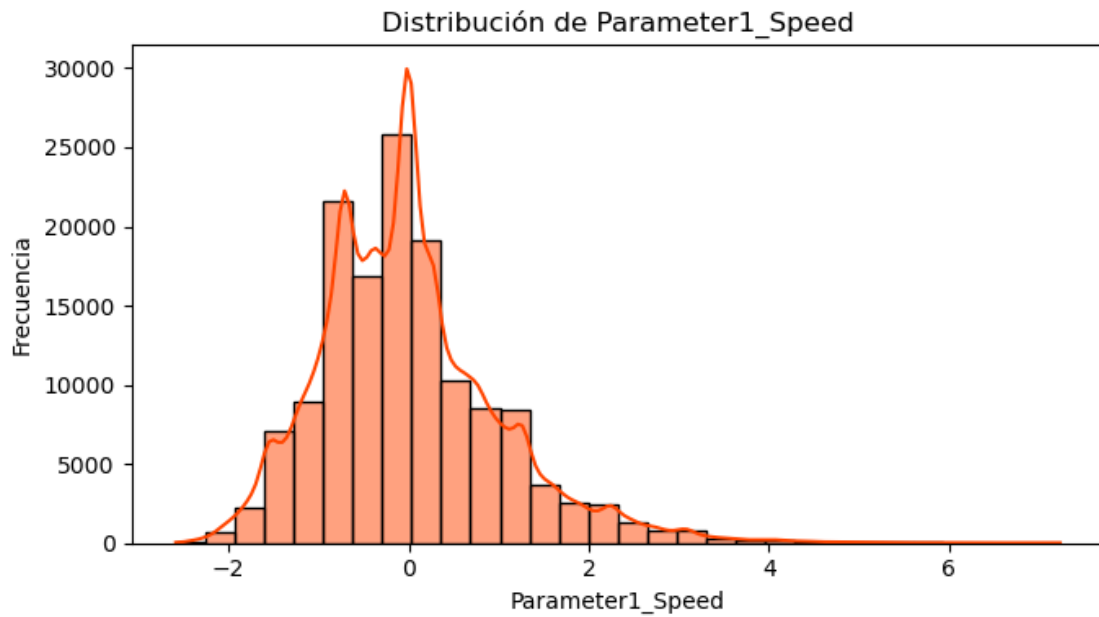
```

```
plt.tight_layout()
```

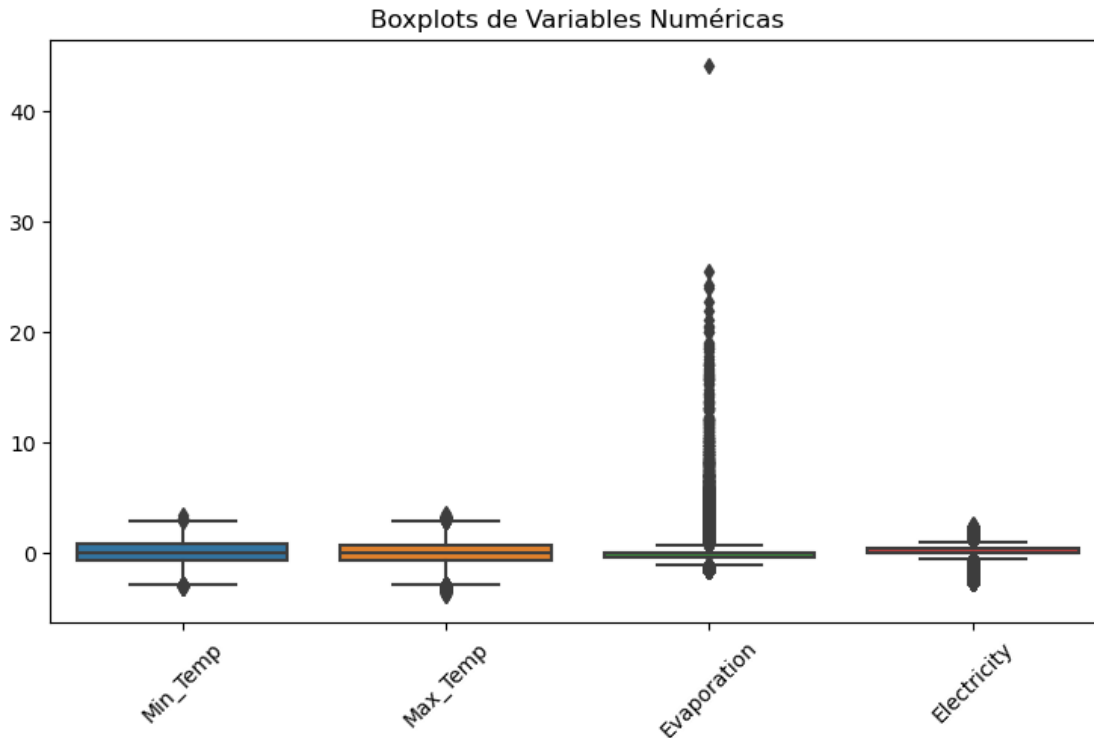
```
plt.show()
```







```
[11]: # Boxplots para identificar outliers
plt.figure(figsize=(9, 5))
sns.boxplot(data=df_clean[['Min_Temp', 'Max_Temp', 'Evaporation', 'Electricity']])
plt.title('Boxplots de Variables Numéricas')
plt.xticks(rotation=45)
plt.show()
```



Respuesta: Antes de todo se debe cargar la data (**machine_failure_data.csv**), la cual se definió como nuestra **df** a trabajar. Luego se identificaron las variables que poseía el archivo, las cuales incluye fechas, temperaturas, consumo eléctrico, sensores, entre otras. La Data poseía 22 columnas con una combinación de datos numéricos, categóricos y fechas. Se convirtió la columna de fecha a formato datetime para facilitar análisis temporales. Se revisaron tipos de datos, valores nulos y estadísticas básicas. Posteriormente, se eliminaron las columnas con (>30%) de datos faltantes, y los nulos restantes fueron imputados con interpolación lineal o la media. También se transformó la variable dependiente **Failure_today** a binaria (Yes -> 1, No -> 0), se simplificó la variable de dirección del viento agrupándola en puntos cardinales (como los que salían en la visualización), y se estandarizaron las variables numéricas para dejar un análisis más robusto. Se crearon variables auxiliares **Evaporation_missing** y **Electricity_missing** para indicar si el valor estaba ausente. Se generaron visualizaciones de la data con histogramas y un boxplot, permitiendo observar la distribución de algunos parámetros y la presencia de outliers. Esta primera instancia permitió dejar la base de datos limpia y sin ninguna ambigüedad, para poder realizar el análisis con los modelos a continuación.

1.0.2 Pregunta 2

```
[12]: import statsmodels.api as sm

# Asegurar que la variable objetivo esté limpia y en formato numérico binario
df_clean['Failure_today'] = pd.to_numeric(df_clean['Failure_today'],
    ↪errors='coerce')
```

```

df_clean = df_clean[df_clean['Failure_today'].notna()]
df_clean['Failure_today'] = df_clean['Failure_today'].astype(int)

# 1. Definir variable objetivo (y) y predictoras (X)
y = df_clean['Failure_today']

# Variables seleccionadas (basadas en significancia estadística y correlación)
X_vars = [
    'Max_Temp',          # Temperatura máxima
    'Parameter1_Speed',  # Velocidad del viento
    'Evaporation',       # Tasa de evaporación
    'Electricity_missing' # Indicador de datos faltantes
]

# 2. Crear matriz X con constante y asegurar limpieza
X = sm.add_constant(df_clean[X_vars].replace([np.inf, -np.inf], np.nan).
    ↪dropna())
y = y.loc[X.index] # Sincronizar con X

# 3. Modelo OLS con errores robustos (para heterocedasticidad)
model_ols = sm.OLS(y, X).fit(cov_type='HCO')
print(model_ols.summary())

```

OLS Regression Results

```

=====
Dep. Variable:          Failure_today    R-squared:                0.084
Model:                  OLS              Adj. R-squared:         0.084
Method:                Least Squares     F-statistic:             2990.
Date:                  Thu, 24 Apr 2025   Prob (F-statistic):       0.00
Time:                  23:51:58           Log-Likelihood:          -70274.
No. Observations:      140787            AIC:                    1.406e+05
Df Residuals:          140782            BIC:                    1.406e+05
Df Model:               4
Covariance Type:       HCO
=====

```

```

=====

```

	coef	std err	z	P> z	[0.025
0.975]					

const	0.2264	0.001	154.140	0.000	0.224
0.229					
Max_Temp	-0.0865	0.001	-68.144	0.000	-0.089
-0.084					
Parameter1_Speed	0.0727	0.001	63.054	0.000	0.070
0.075					
Evaporation	-0.0311	0.002	-19.559	0.000	-0.034
-0.028					

Electricity_missing	-0.0059	0.002	-2.785	0.005	-0.010
-0.002					
=====					
Omnibus:	21338.858	Durbin-Watson:		1.482	
Prob(Omnibus):	0.000	Jarque-Bera (JB):		32806.320	
Skew:	1.180	Prob(JB):		0.00	
Kurtosis:	2.860	Cond. No.		2.81	
=====					

Notes:

[1] Standard Errors are heteroscedasticity robust (HCO)

Respuesta: En primer lugar, para evaluar los factores que influyen en la probabilidad de fallos diarios (*Failure_today*) de los sensores, se implementó un modelo de mínimos cuadrados ordinarios (MCO), como fue solicitado. Este análisis reveló relaciones significativas entre variables climáticas/operacionales y la ocurrencia de fallos, aunque posee ciertas limitaciones propias de este tipo de modelos relacionado a las variables binarias.

Los resultados muestran que la temperatura máxima (*Max_Temp*) presenta un efecto “protector”, esto debido a que por cada aumento de 1°C, la probabilidad de fallo disminuye en aproximadamente un 8.7%. De algún modo, este comportamiento podría asociarse a una menor humedad en el ambiente en días cálidos, lo que para la máquina podría implicar que se reduzca el riesgo de corrosión o fallos eléctricos. Por otro lado, la velocidad del viento (*Parameter1_Speed*) se asocia positivamente con los fallos, incrementando la probabilidad en un 7.3% por unidad, lo que podría significar que algo debe interferir. La evaporación (*Evaporation*) también mostró un efecto mitigador (−3.1%), sugiriendo que condiciones más secas son menos perjudiciales para el sistema. Por último, los días con datos faltantes en electricidad (*Electricity_missing*) presentaron una leve disminución en fallos (−0.6%), aunque este resultado podría estar relacionado con problemas de medición más que un efecto real.

→ El modelo es estadísticamente significativo ($F = 2990$, $p < 0.001$) y se estimó con errores robustos.

→ El bajo R^2 (0.084) refleja su limitada capacidad explicativa, habitual en modelos lineales con variables dependientes binarias. Esto podría significar que existan otros factores no observados que ayudarían el modelo (como parámetros de presión u otras variables físicas).

A modo de conclusión, el modelo entrega evidencia de relaciones clave entre variables ambientales y fallos, útiles para estrategias de mantenimiento predictivo. No obstante, su naturaleza lineal justifica la exploración de modelos no lineales como Probit y Logit en el análisis posterior.

1.0.3 Pregunta 3

```
[13]: from statsmodels.discrete.discrete_model import Probit

# Reusamos las mismas X e y que ya limpiamos en la pregunta anterior
# Vemos que no tengamos nulos ni infinitos
X_probit = sm.add_constant(df_clean[X_vars])
X_probit = X_probit.replace([np.inf, -np.inf], np.nan).dropna()
y_probit = df_clean['Failure_today'].loc[X_probit.index]
```



```
# Modelo probit
modelo_probit = Probit(y_probit, X_probit).fit()
print(modelo_probit.summary())
```

Optimization terminated successfully.

Current function value: 0.488246

Iterations 6

Probit Regression Results

```
=====
Dep. Variable:          Failure_today    No. Observations:          140787
Model:                  Probit           Df Residuals:            140782
Method:                 MLE             Df Model:                4
Date:                  Thu, 24 Apr 2025   Pseudo R-squ.:            0.08087
Time:                  23:51:59          Log-Likelihood:           -68739.
converged:              True             LL-Null:                  -74787.
Covariance Type:        nonrobust         LLR p-value:              0.000
=====
=====
              coef      std err          z      P>|z|      [0.025
0.975]
-----
-----
const          -0.8246      0.006   -149.548      0.000      -0.835
-0.814
Max_Temp       -0.2996      0.005    -66.028      0.000      -0.309
-0.291
Parameter1_Speed  0.2326      0.004     61.478      0.000       0.225
0.240
Evaporation     -0.1503      0.005    -29.123      0.000      -0.160
-0.140
Electricity_missing -0.0022      0.008     -0.273      0.785      -0.018
0.013
=====
=====
```

Respuesta: Con el objetivo de mejorar la modelación de la variable binaria `Failure_today`, se estimó un modelo de regresión Probit, que es más apropiado para variables binarias que el MCO. Se utilizaron las mismas variables explicativas de la pregunta anterior, las cuales son: temperatura máxima, velocidad del viento, evaporación y el indicador de datos faltantes en electricidad. Todas las variables ya fueron estandarizadas (como se mencionó) y se verificó que no existieran valores nulos ni infinitos como NaN.

En principio, el modelo resultó significativo (LLR $p < 0.001$) y pudo confirmar los patrones observados en el análisis anterior. En particular, se mantiene el efecto protector de la temperatura máxima (coef. = -0.30), así como el efecto positivo de la velocidad del viento (coef. = 0.23), como también el efecto mitigador de la evaporación (coef. = -0.15). La variable `Electricity_missing`, en cambio, no resultó estadísticamente significativa ($p = 0.785$), lo que podría sugerir que su efecto no era del todo cierto en el modelo ya visto.

Dado que la Pseudo R^2 es moderada (0.081), este modelo presenta una estructura más adecuada para capturar la naturaleza de la variable dependiente y mejorar la interpretación de probabilidades. Entonces se tiene que, el modelo Probit entrega resultados coherentes ya teniendo análisis previo, pero con mayor rigurosidad estadística, lo que permite identificar factores ambientales relevantes en la probabilidad de fallos diarios en los sensores.

1.0.4 Pregunta 4

```
[14]: from statsmodels.discrete.discrete_model import Logit

# Asegurarnos de que los datos estén limpios (ya lo hicimos, pero por si acaso)
X_logit = sm.add_constant(df_clean[X_vars])
X_logit = X_logit.replace([np.inf, -np.inf], np.nan).dropna()
y_logit = df_clean['Failure_today'].loc[X_logit.index]

# Modelo logit
modelo_logit = Logit(y_logit, X_logit).fit()
print(modelo_logit.summary())
```

Optimization terminated successfully.

Current function value: 0.487494

Iterations 6

Logit Regression Results

```
=====
Dep. Variable:          Failure_today    No. Observations:          140787
Model:                  Logit           Df Residuals:            140782
Method:                 MLE             Df Model:                 4
Date:                  Thu, 24 Apr 2025   Pseudo R-squ.:            0.08229
Time:                  23:51:59           Log-Likelihood:           -68633.
converged:              True             LL-Null:                  -74787.
Covariance Type:        nonrobust         LLR p-value:              0.000
=====
=====
```

	coef	std err	z	P> z	[0.025
0.975]					

const	-1.4019	0.010	-140.060	0.000	-1.421
-1.382					
Max_Temp	-0.5038	0.008	-61.340	0.000	-0.520
-0.488					
Parameter1_Speed	0.4043	0.006	62.437	0.000	0.392
0.417					
Evaporation	-0.3226	0.011	-30.249	0.000	-0.343
-0.302					
Electricity_missing	0.0234	0.014	1.677	0.094	-0.004
0.051					
=====					

=====

Respuesta: Se estimó un modelo Logit con el mismo conjunto de variables utilizadas en los modelos anteriores (OLS y Probit) para explicar la probabilidad de fallo diario de los sensores. Este modelo es muy bueno para variables dependientes binarias como la que tenemos: `Failure_today`, esto debido a que modela directamente la probabilidad a través del logaritmo de los odds.

Los resultados son consistentes con los obtenidos en el modelo Probit, reforzando la robustez del análisis. La temperatura máxima (`Max_Temp`) nuevamente mostró un efecto protector (coef. = -0.50), mientras que la velocidad del viento (`Parameter1_Speed`) aumentó la probabilidad de fallo (coef. = 0.40). De la misma forma, la evaporación presentó un efecto atenuante y significativo (coef. = -0.32), lo que sugiere que ambientes más secos quizás ayuden a reducir las tasas de fallo. El indicador de datos faltantes en electricidad (`Electricity_missing`) no fue estadísticamente significativo ($p = 0.094$), lo que da paso a que su efecto no pueda ser robusto entre modelos. Sin embargo, esto no interfiere negativamente en el ajuste general que posee el modelo.

Con una Pseudo R^2 de aprox. 0.082 y un log-likelihood superior al modelo Probit, el Logit representa una alternativa eficiente y bien especificada para este tipo de análisis. Además, permite una interpretación directa en términos de odds, lo que facilita la toma de decisiones en contextos operativos o de mantenimiento preventivo.

1.0.5 Pregunta 5

Respuesta: Esta pregunta se fue desarrollando con las respuestas individuales de cada pregunta, las cuales ofrecen la información también. Pero ahora juntando todo y comparando los modelos MCO, Probit y Logit, los cuales fueron aplicados con las mismas variables predictoras, se puede observar una fuerte consistencia en los resultados. `Max_Temp` mostró un efecto protector en todos los modelos, mientras que `Parameter1_Speed` tuvo un impacto positivo en la probabilidad de fallos, y `Evaporation` mostró un efecto negativo. Estas tres variables resultaron ser robustas a la especificación econométrica, manteniendo tanto su signo como su significancia estadística, lo que sugiere que son factores importantes y estables al momento de explicar la ocurrencia de fallos diarios.

En cuanto a diferencias, el modelo MCO tiene limitaciones técnicas al aplicarse a variables binarias, entregando un R^2 bajo y supuestos que pueden no cumplirse. El modelo Probit mejora el ajuste al modelar directamente la probabilidad, y el Logit entrega aún mejor desempeño y una interpretación más intuitiva a través de odds ratios. Por todo esto, el modelo Logit es el que resulta ser más adecuado para poder abordar el problema de la tarea, ya que combina por una parte, buena capacidad predictiva que lo combina con una interpretación clara que es útil para decisiones operativas.

1.0.6 Pregunta 6

```
[15]: # para asegurar, lo mismo de antes
df_clean['Date'] = pd.to_datetime(df_clean['Date'])
# creamos la columna mes
df_clean['Mes'] = df_clean['Date'].dt.to_period('M')

# Agrupamos por mes y hacemos el calculo del promedio de variables numéricas
vars_promedio = ['Min_Temp', 'Max_Temp', 'Evaporation', 'Electricity',
                 ↪ 'Parameter1_Speed']
```

```

df_mensual = df_clean.groupby('Mes')[vars_promedio].mean().reset_index()

# Cantidad de fallas por mes
fallas_por_mes = df_clean.groupby('Mes')['Failure_today'].sum().reset_index()
fallas_por_mes.rename(columns={'Failure_today': 'Fallas_mes'}, inplace=True)

df_mensual = pd.merge(df_mensual, fallas_por_mes, on='Mes')
df_mensual.head()

```

```

[15]:      Mes  Min_Temp  Max_Temp  Evaporation  Electricity  Parameter1_Speed  \
0  2007-11 -0.067784  0.256916    0.135783    0.093292    0.097606
1  2007-12  0.176322  0.266202    0.110328    0.242144    0.045390
2  2008-01  0.494919  0.829735    0.780313    0.546452    0.234446
3  2008-02  0.534571  0.201882    0.057796   -0.247385    0.034717
4  2008-03  0.302044  0.323599    0.065527    0.472144   -0.063239

```

```

      Fallas_mes
0             7
1            12
2             5
3            24
4             8

```

```

[16]: X_poisson = df_mensual[vars_promedio]
X_poisson = sm.add_constant(X_poisson)

y_poisson = df_mensual['Fallas_mes']

# Modelo Poisson
modelo_poisson = sm.GLM(y_poisson, X_poisson, family=sm.families.Poisson()).
    ↪fit()
print(modelo_poisson.summary())

```

```

=====
Generalized Linear Model Regression Results
=====
Dep. Variable:          Fallas_mes    No. Observations:          113
Model:                  GLM           Df Residuals:              107
Model Family:           Poisson       Df Model:                  5
Link Function:          Log           Scale:                    1.0000
Method:                 IRLS          Log-Likelihood:           -3089.1
Date:                   Thu, 24 Apr 2025    Deviance:                 5360.7
Time:                   23:51:59           Pearson chi2:             3.78e+03
No. Iterations:         5               Pseudo R-squ. (CS):       1.000
Covariance Type:        nonrobust
=====
=====

```

	coef	std err	z	P> z	[0.025
0.975]					

const	5.6309	0.006	986.277	0.000	5.620
5.642					
Min_Temp	0.7011	0.056	12.482	0.000	0.591
0.811					
Max_Temp	-1.3745	0.064	-21.603	0.000	-1.499
-1.250					
Evaporation	1.5533	0.056	27.655	0.000	1.443
1.663					
Electricity	-1.1976	0.068	-17.733	0.000	-1.330
-1.065					
Parameter1_Speed	-0.0253	0.035	-0.731	0.465	-0.093
0.043					
=====					
=====					

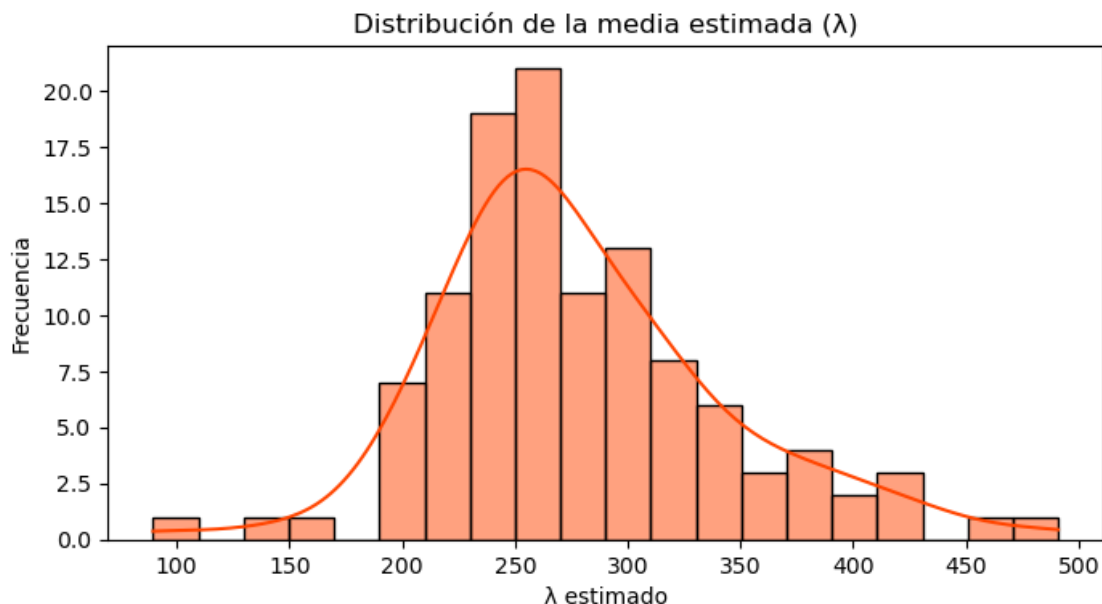
Respuesta: Se agrupó la base a nivel mensual, promediando variables numéricas clave como temperatura, evaporación y electricidad, y se contó el total de fallas registradas cada mes. Luego, se usó un modelo de Poisson para explicar la variable **Fallas_mes** según esas condiciones promedio.

El modelo mostró que **Max_Temp** y **Electricity** están asociadas a menos fallos, mientras que **Min_Temp** y **Evaporation** se relacionan con un aumento en las fallas. **Parameter1_Speed** no fue significativa. Este análisis permite entender tendencias mensuales de fallos y puede apoyar decisiones de mantenimiento preventivo.

1.0.7 Pregunta 7

```
[17]: # Del modelo Poisson:
df_mensual['plambda'] = modelo_poisson.mu

plt.figure(figsize=(8, 4))
sns.histplot(data=df_mensual, x="plambda", bins=20, kde=True, color='orangered')
plt.title('Distribución de la media estimada ( )')
plt.xlabel('  estimado')
plt.ylabel('Frecuencia')
plt.show()
```



```
[18]: # Cálculo para detectar sobredispersión
aux = ((df_mensual['Fallas_mes'] - modelo_poisson.mu) ** 2 - modelo_poisson.mu)
      ↪ / modelo_poisson.mu
auxr = sm.OLS(aux, modelo_poisson.mu).fit()
print(auxr.summary())
```

OLS Regression Results

```
=====
=====
Dep. Variable:          Fallas_mes    R-squared (uncentered):
0.181
Model:                  OLS          Adj. R-squared (uncentered):
0.174
Method:                 Least Squares  F-statistic:
24.75
Date:                   Thu, 24 Apr 2025  Prob (F-statistic):
2.37e-06
Time:                   23:52:00        Log-Likelihood:
-634.60
No. Observations:      113            AIC:
1271.
Df Residuals:          112            BIC:
1274.
Df Model:               1
Covariance Type:       nonrobust

=====
=====
```

coef	std err	t	P> t	[0.025	0.975]
------	---------	---	------	--------	--------

x1	0.1095	0.022	4.975	0.000	0.066	0.153
=====						
Omnibus:		92.435	Durbin-Watson:			0.609
Prob(Omnibus):		0.000	Jarque-Bera (JB):			592.210
Skew:		2.922	Prob(JB):			2.53e-129
Kurtosis:		12.572	Cond. No.			1.00
=====						

Notes:

[1] R^2 is computed without centering (uncentered) since the model does not contain a constant.

[2] Standard Errors assume that the covariance matrix of the errors is correctly specified.

Respuesta: Para evaluar la presencia de sobredispersión en el modelo Poisson, se estimó la media esperada de fallas mensuales (λ) y se aplicó un modelo auxiliar según la formulación propuesta en clases. El objetivo fue contrastar si la varianza de los residuos excedía la media, condición clave para justificar un modelo de Binomial Negativa.

Los resultados muestran que el coeficiente estimado es significativamente distinto de cero (coef = 0.1095, $p < 0.001$), lo que confirma la presencia de sobredispersión en los datos mensuales. Este hallazgo implica que el supuesto básico del modelo Poisson (igualdad entre media y varianza) no se cumple del todo, y que la varianza observada es mayor a la esperada bajo dicho modelo.

En base a esto, se sugiere utilizar un modelo de Binomial Negativa con un parámetro de dispersión inicial $\alpha \approx 0.11$, que permite ajustar mejor la varianza adicional observada en los datos.

1.0.8 Pregunta 8

```
[19]: # Usamos las mismas variables que en el modelo Poisson
X_nb = df_mensual[['Min_Temp', 'Max_Temp', 'Evaporation', 'Electricity',
↳'Parameter1_Speed']]
X_nb = sm.add_constant(X_nb)
y_nb = df_mensual['Fallas_mes']

# Ajustamos el modelo Binomial Negativa con el alpha estimado
modelo_nb = sm.GLM(y_nb, X_nb, family=sm.families.NegativeBinomial(alpha=0.11)).
↳fit()
print(modelo_nb.summary())
```

Generalized Linear Model Regression Results

=====			
Dep. Variable:	Fallas_mes	No. Observations:	113
Model:	GLM	Df Residuals:	107
Model Family:	NegativeBinomial	Df Model:	5
Link Function:	Log	Scale:	1.0000
Method:	IRLS	Log-Likelihood:	-765.77
Date:	Thu, 24 Apr 2025	Deviance:	342.79

Time: 23:52:00 Pearson chi2: 149.
 No. Iterations: 18 Pseudo R-squ. (CS): 0.5142
 Covariance Type: nonrobust

```
=====
```

```
=====
```

	coef	std err	z	P> z	[0.025
0.975]					

const	5.6378	0.032	175.501	0.000	5.575
5.701					
Min_Temp	0.5889	0.314	1.874	0.061	-0.027
1.205					
Max_Temp	-1.4028	0.364	-3.850	0.000	-2.117
-0.689					
Evaporation	2.5544	0.286	8.932	0.000	1.994
3.115					
Electricity	-2.8261	0.344	-8.208	0.000	-3.501
-2.151					
Parameter1_Speed	0.1791	0.200	0.898	0.369	-0.212
0.570					

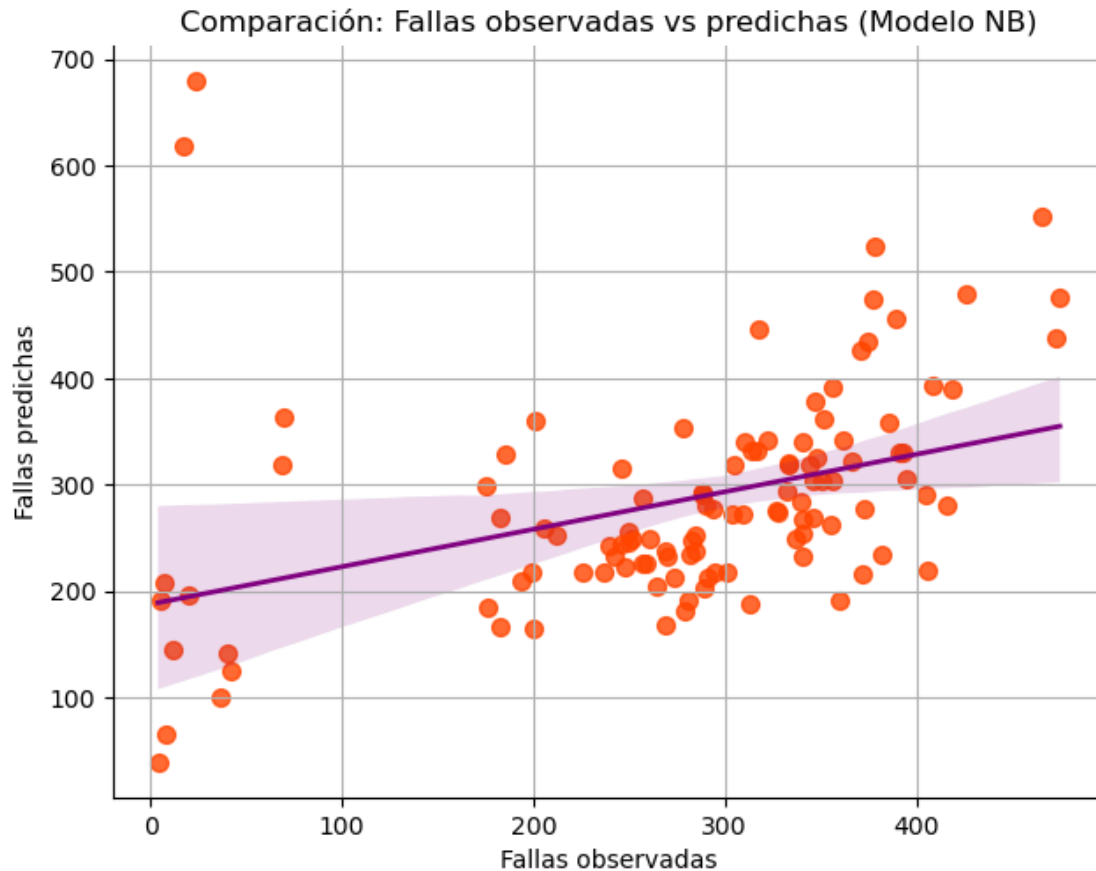
```
=====
```

```
=====
```

```
[20]: df_mensual['pred_nb'] = modelo_nb.predict(X_nb)

sns.lmplot(data=df_mensual, x='Fallas_mes', y='pred_nb', aspect=1.3,
           scatter_kws={'color': 'orangered', 's': 50},
           line_kws={'color': 'purple', 'linewidth': 2})
plt.title("Comparación: Fallas observadas vs predichas (Modelo NB)")

plt.xlabel("Fallas observadas")
plt.ylabel("Fallas predichas")
plt.grid(True)
plt.show()
```

Respuesta: Se aplicó un modelo de Binomial Negativa usando el valor de $\alpha = 0.11$ obtenido en la pregunta anterior, para explicar el número de fallas por mes. El modelo presentó un mejor ajuste que Poisson (mayor log-likelihood y pseudo R^2), lo que confirma que había sobredispersión en los datos. Las variables **Max_Temp**, **Evaporation** y **Electricity** fueron estadísticamente significativas. A mayor temperatura y consumo eléctrico, hubo menos fallas. Por el contrario, una mayor evaporación se asoció a más fallos. **Parameter1_Speed** no fue significativa, lo que indica que su efecto podría depender del modelo usado. En resumen, este modelo mejora la explicación de fallas mensuales y es más adecuado cuando hay sobredispersión como en este caso.

1.0.9 Pregunta 9

Respuesta: Luego de ya haber realizado la evaluación de los modelos de Poisson y Binomial Negativa que fueron aplicados a data mensual, se puede evidenciar diferencias que son clave en la capacidad que poseen para representar la realidad observada del problema de investigación. Por un lado, el modelo Poisson parte de la premisa de que la media y la varianza son iguales, pero en este caso se detectó sobredispersión, esto puede derivar en un exceso de confianza en la significancia estadística y un mal ajuste del modelo trabajado. Para poder afrontar esto, convenientemente viene aquí un modelo Binomial Negativa, que incorpora el parámetro α (α) que fue estimado previamente, lo que permitió capturar mejor la variabilidad en los datos. Este modelo no solo mostró un mejor ajuste (log-likelihood más alto y $< AIC$), sino que también entregó coeficientes

más estables, realistas y adecuados en comparación con los de Poisson, especialmente al evaluar la magnitud de los efectos.

En cuanto a las variables, **Max_Temp** y **Electricit** mostraron relaciones negativas consistentes en ambos modelos, lo que significa que los valores altos en estas variables están asociados con una menor cantidad de fallos y esto podría reflejar condiciones más estables o seguras para la operación del sistema. Por su parte, **Evaporation** fue una de las variables más relevantes en ambos modelos, pero con un efecto más marcado en el modelo Binomial Negativa, sugiriendo que en meses con mayor evaporación aumentan los fallos, quizás por condiciones más secas que afectan componentes. La variable **Parameter1_Speed**, que fue significativa en Poisson, perdió relevancia en el modelo NB.

A modo de conclusión, aunque tenemos que ambos modelos permiten identificar patrones mensuales útiles, el del Binomial Negativa entrega resultados más robustos para este tipo de datos de conteo con sobredispersión. La flexibilidad que tiene lo hace más adecuado para apoyar decisiones, como identificar períodos críticos para mantenimiento o interpretar mejor el rol de las condiciones ambientales sobre el funcionamiento del sistema. Además, entrega señales claras sobre variables clave como evaporación y temperatura, abriendo espacio para incorporar más factores en futuros análisis (como humedad o presión) que ayuden a afinar aún más estas predicciones.