



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN

Artículo Académico Previo a la Obtención del Título de Ingeniero en Electrónica e Instrumentación

SISTEMA DE PREDICCIÓN DE VARIABLES METEOROLÓGICAS UTILIZANDO MACHINE LEARNING Y SOFTWARE LIBRE

Autores:

Segovia Tapia, Jenny Aracely
Toaquiza Camalle, Jonathan Fernando

Tutora. Ing. Llanos Proaño, Jacqueline del Rosario PhD

Co-Tutor. Ing. Rivas Lalaleo, David Raimundo PhD





electronics

an Open Access Journal by MDPI



CERTIFICATE OF ACCEPTANCE



Certificate of acceptance for the manuscript (**electronics-2174333**) titled:
Meteorological Variables Forecasting System Using Machine Learning and Open-Source Software

Authored by:

Jenny Segovia; Jonathan Toaquiza; Jacqueline Llanos; David Rivas

has been accepted in *Electronics* (ISSN 2079-9292) on 06 February 2023



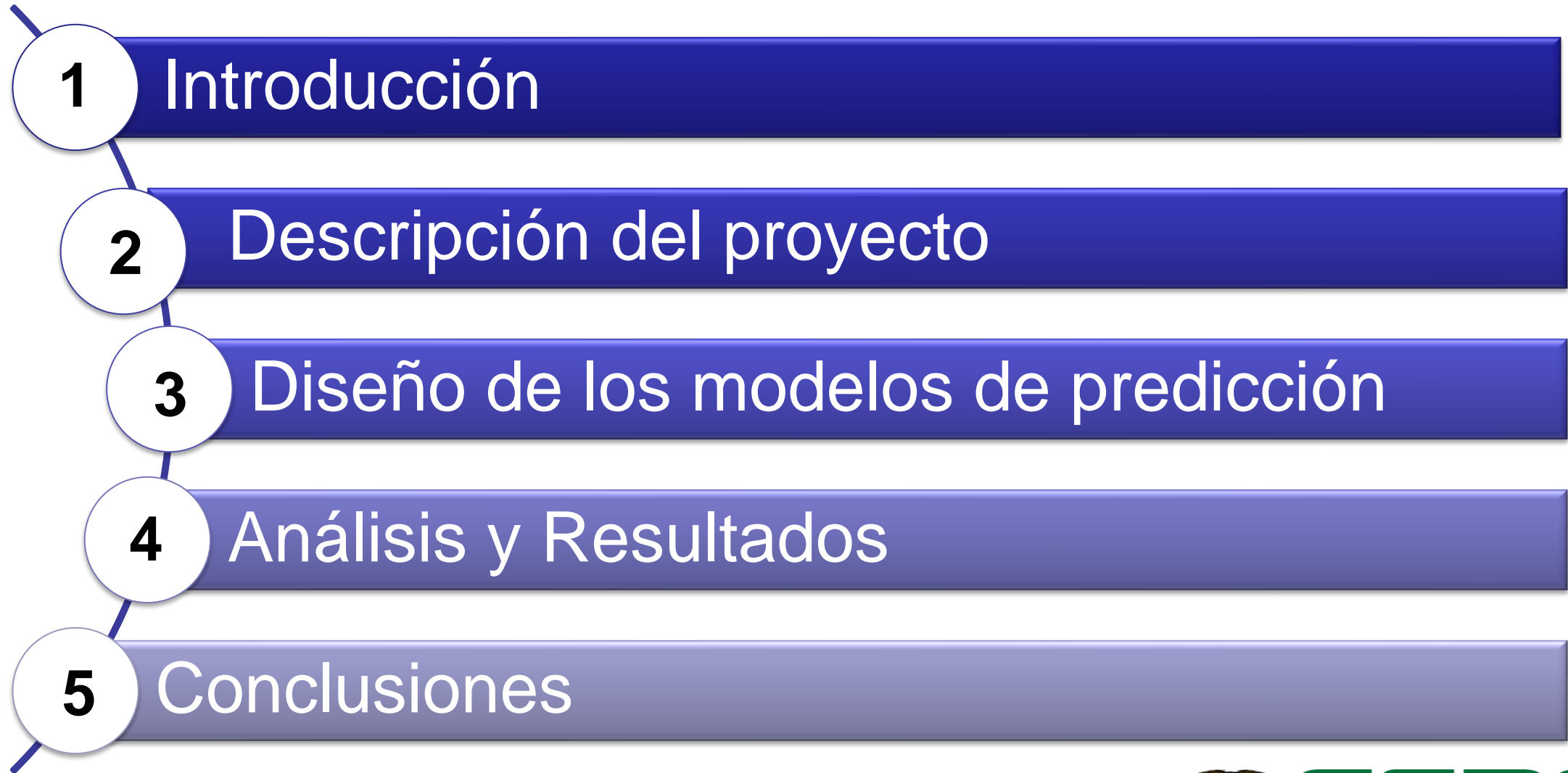
Academic Open Access Publishing
since 1996

Basel, February 2023

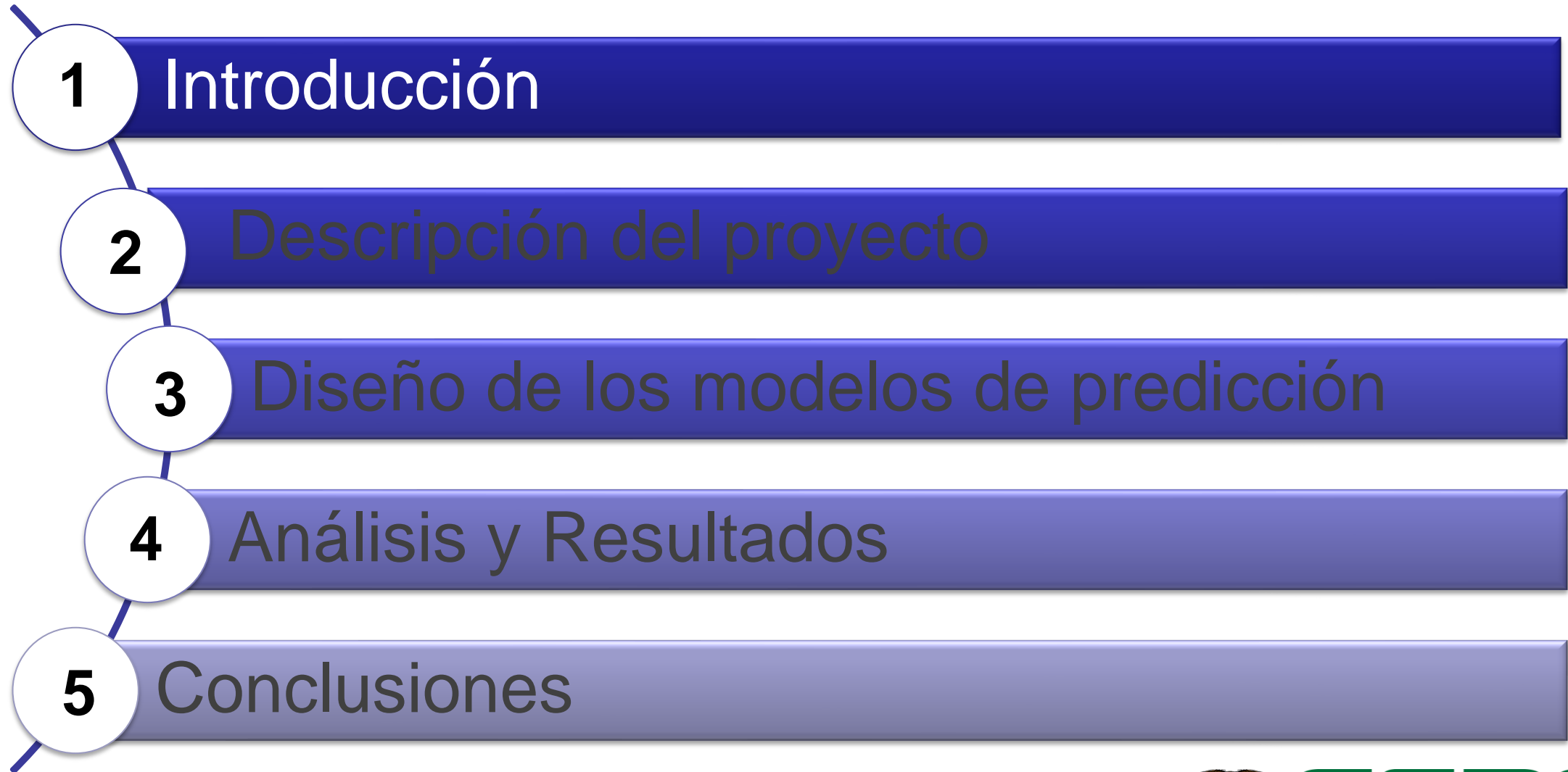


ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

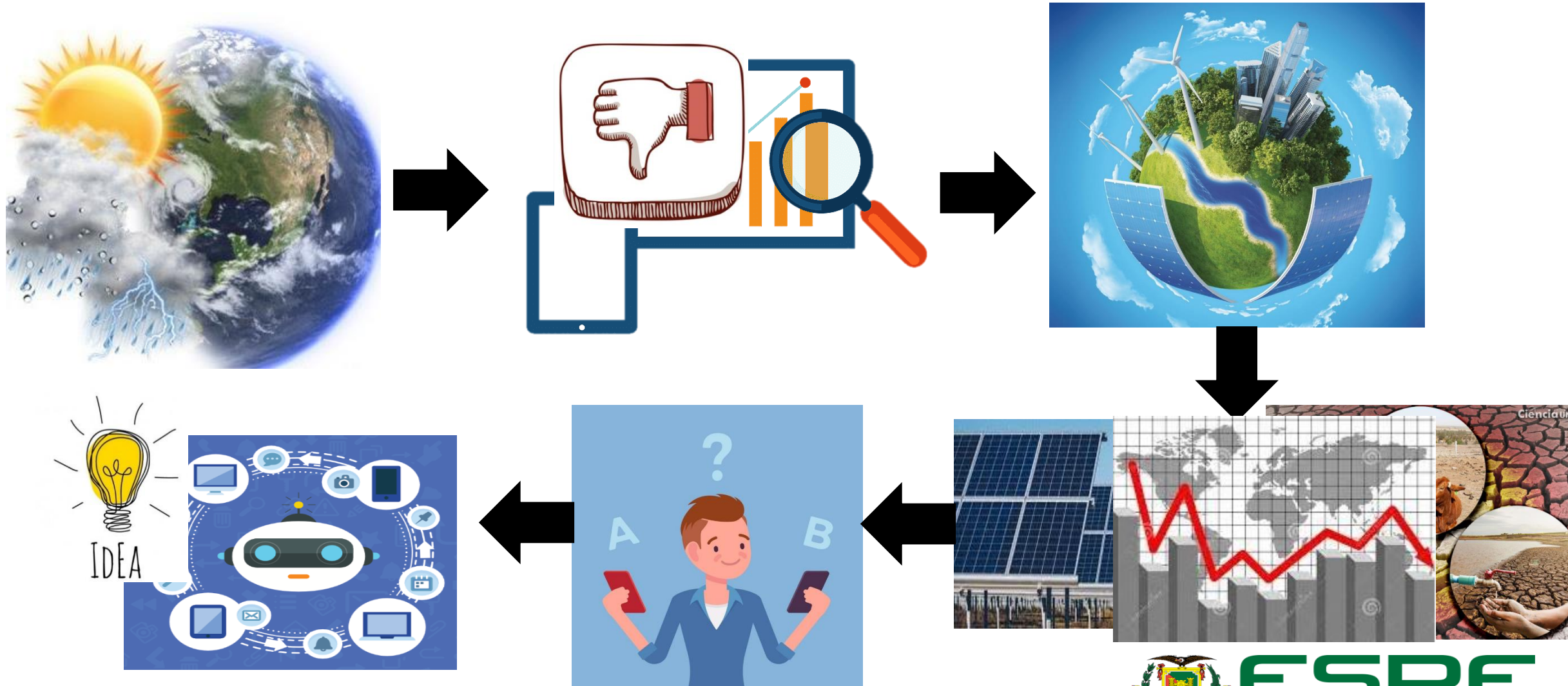
Itinerario



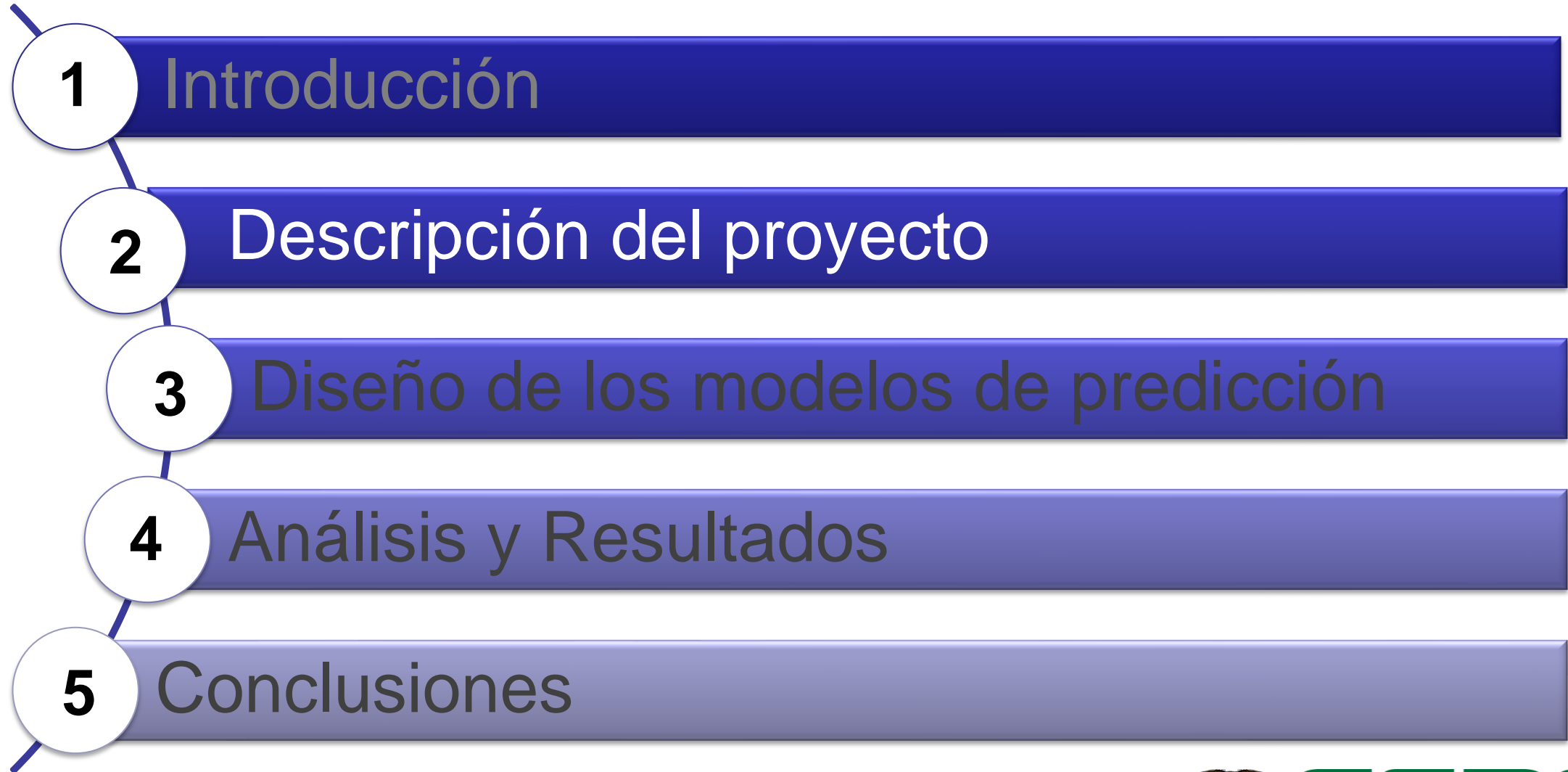
Itinerario



INTRODUCCIÓN



Itinerario



Descripción del Proyecto

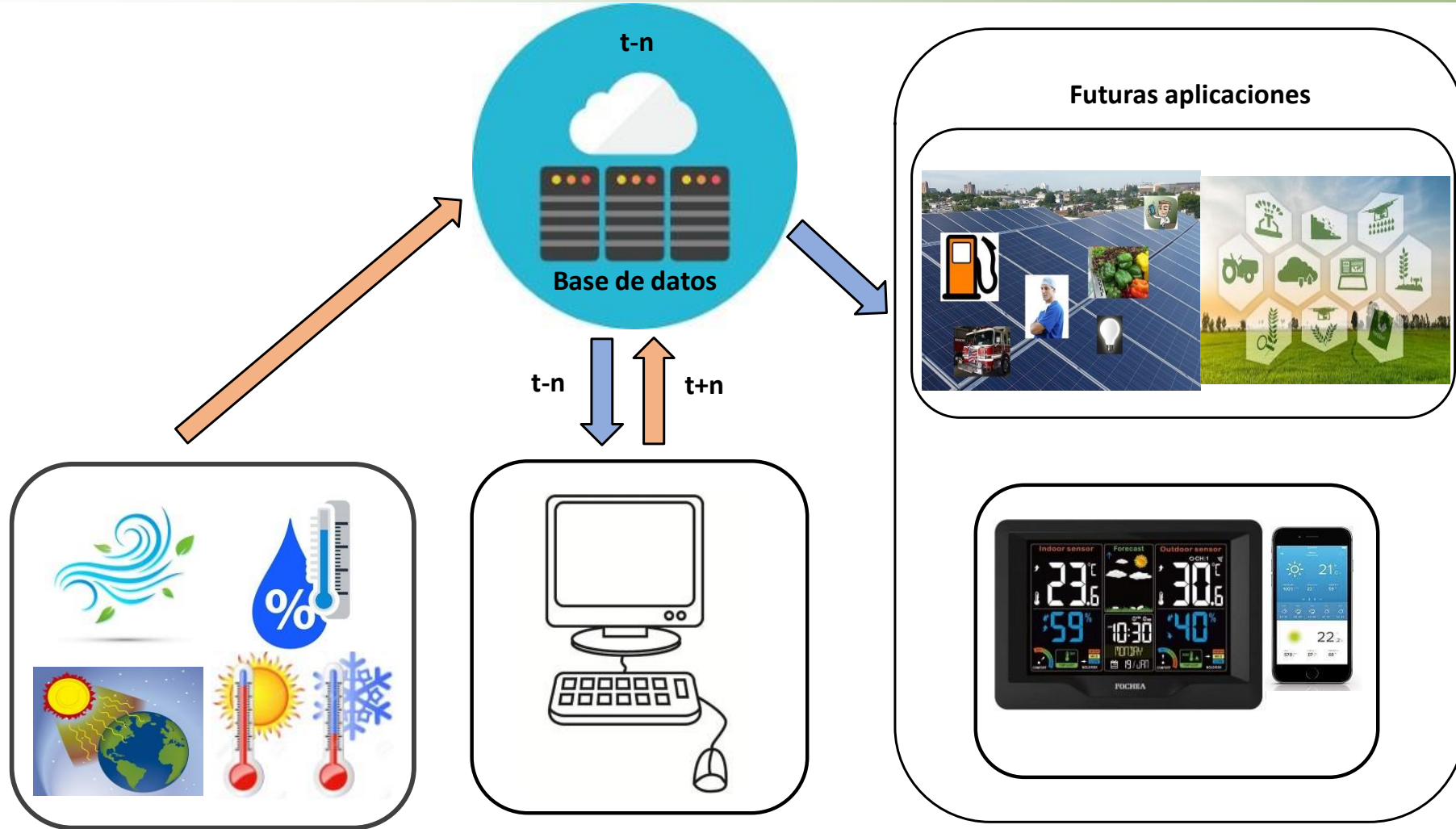
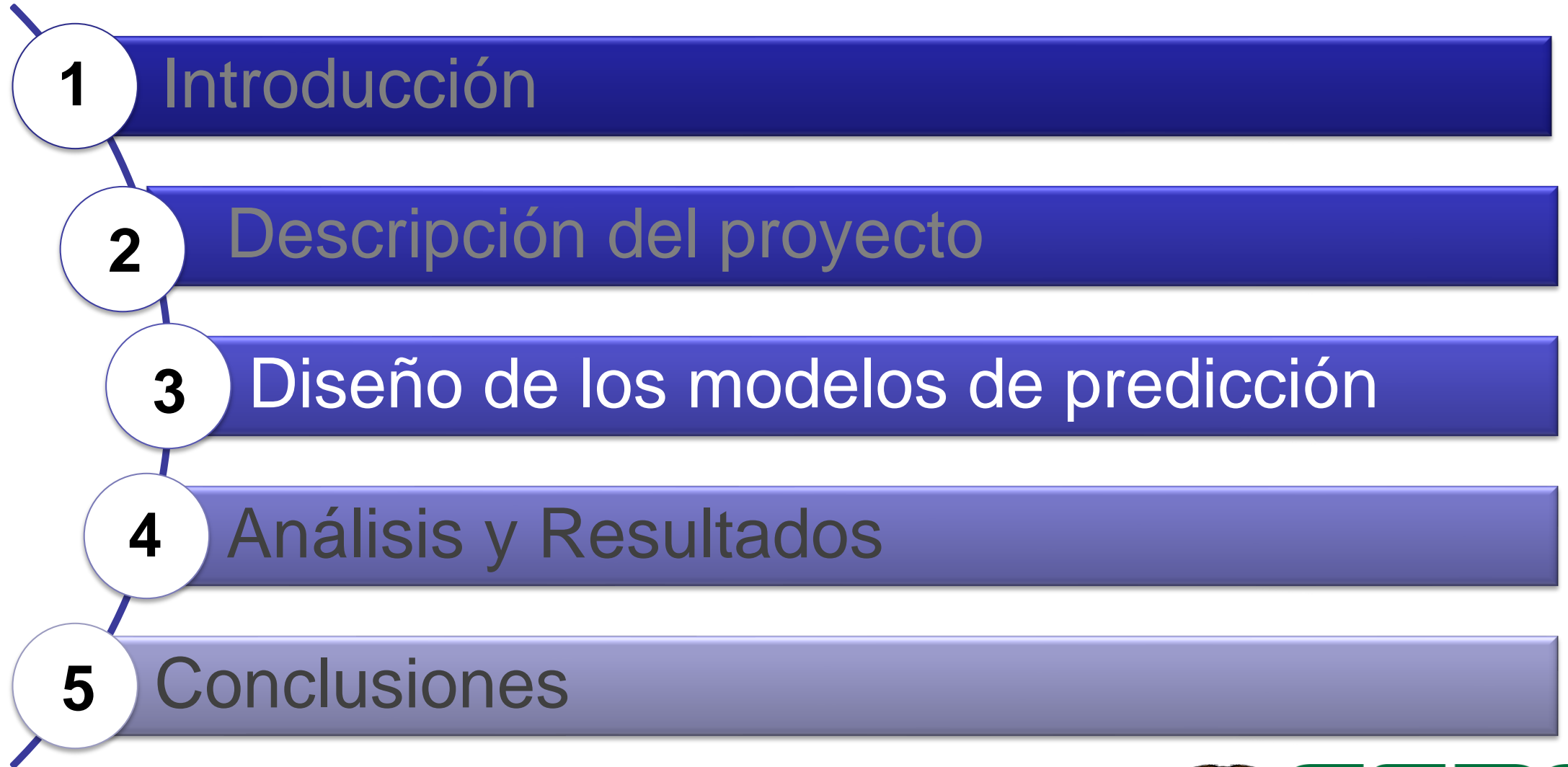


Figura 1. Diagrama del proyecto.

Itinerario



Diseño de los modelos de predicción

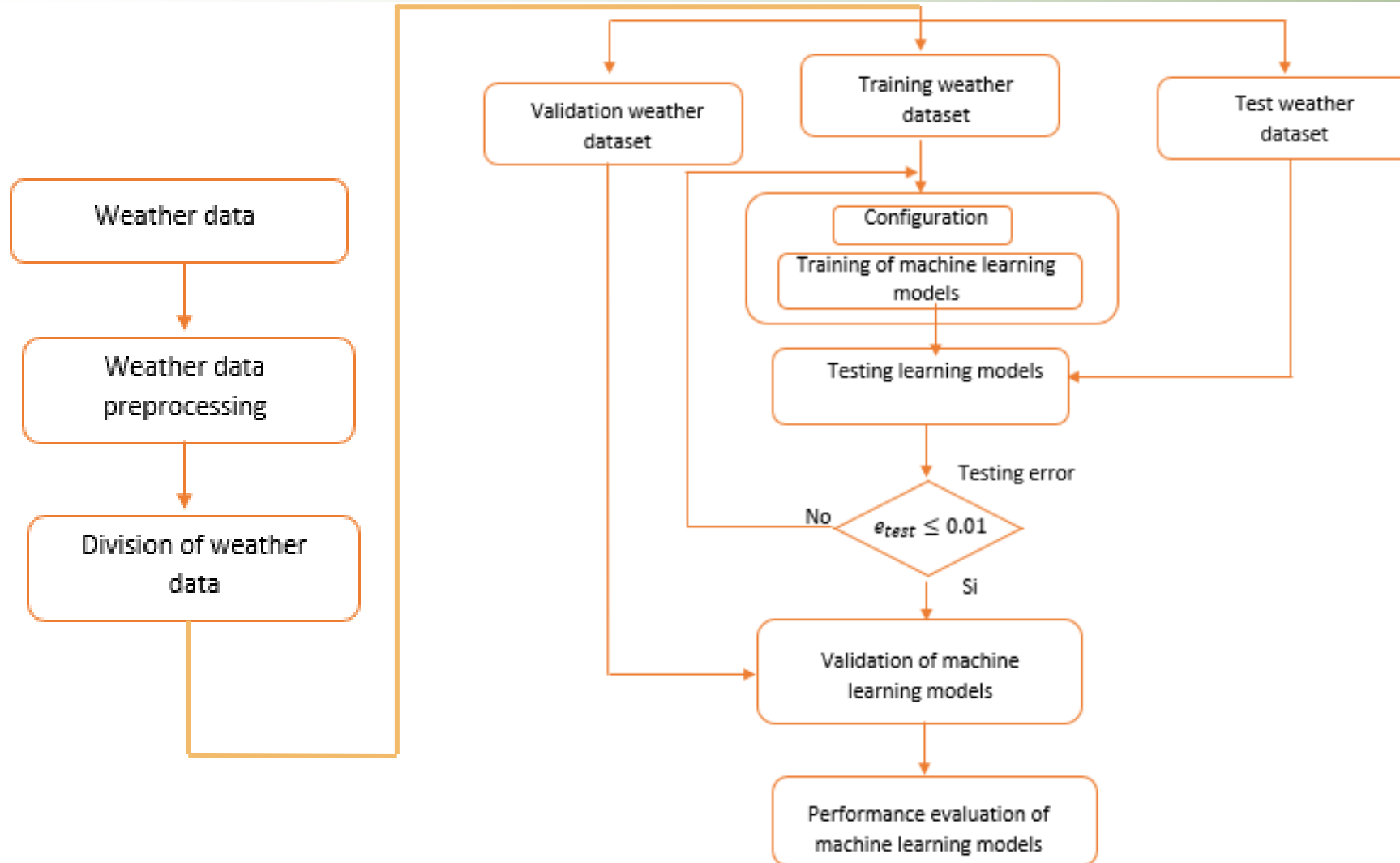


Figura 2. Diagrama de flujo de la metodología utilizada para obtener modelos de predicción de variables meteorológicas.

Regresión lineal múltiple

Tabla 1. Parámetros de ajuste para la técnica de regresión lineal múltiple.

Multiple linear regression

Predicted variable	Inputs variables
Temperature	Solar radiation, relative humidity, wind speed
Solar radiation	Temperature, relative humidity, wind speed
Wind speed	Temperature, solar radiation, relative humidity
Relative Humidity	Temperature, solar radiation, wind speed

Regresión polinomial

Tabla 2. Parámetros de ajuste para la técnica de regresión polinomial.

Polynomial Regression

Predicted variable	Inputs variables	Degree of the polynomial
Temperature	Solar radiation, relative humidity, wind speed	4
Solar radiation	Temperature, relative humidity, wind speed	5
Wind speed	Temperature, solar radiation, relative humidity	6
Relative Humidity	Temperature, solar radiation, wind speed	4



Decision Tree

Tabla 3. Parámetros de ajuste para la técnica Decision Tree

Decision Tree			
Predicted variable	Inputs variables	Max_depth	Min_samples_leaf
Temperature	Solar radiation, relative humidity, wind speed	10	18
Solar radiation	Temperature, relative humidity, wind speed	10	7
Wind speed	Temperature, solar radiation, relative humidity	19	6
Relative Humidity	Temperature, solar radiation, wind speed	9	16

XGBoost

Tabla 4. Parámetros de ajuste para la técnica XGBoost

XGBoost			
Predicted variable	Inputs variables	Max depth	N° estimators
Temperature	Solar radiation, relative humidity, wind speed	2	100
Solar radiation	Temperature, relative humidity, wind speed	2	20
Wind speed	Temperature, solar radiation, relative humidity	5	19
Relative Humidity	Temperature, solar radiation, wind speed	7	19



Random Forest

Tabla 5. Parámetros de ajuste para la técnica Random Forest

Random forest				
Predicted variable	Inputs variables	N° estimators	Max leaf nodes	Max features
Temperature	Solar radiation, relative humidity, wind speed	100	3000	0.1
Solar radiation	Temperature, relative humidity, wind speed	100	3000	0.1
Wind speed	Temperature, solar radiation, relative humidity	100	2000	0.3
Relative Humidity	Temperature, solar radiation, wind speed	100	2000	0.2



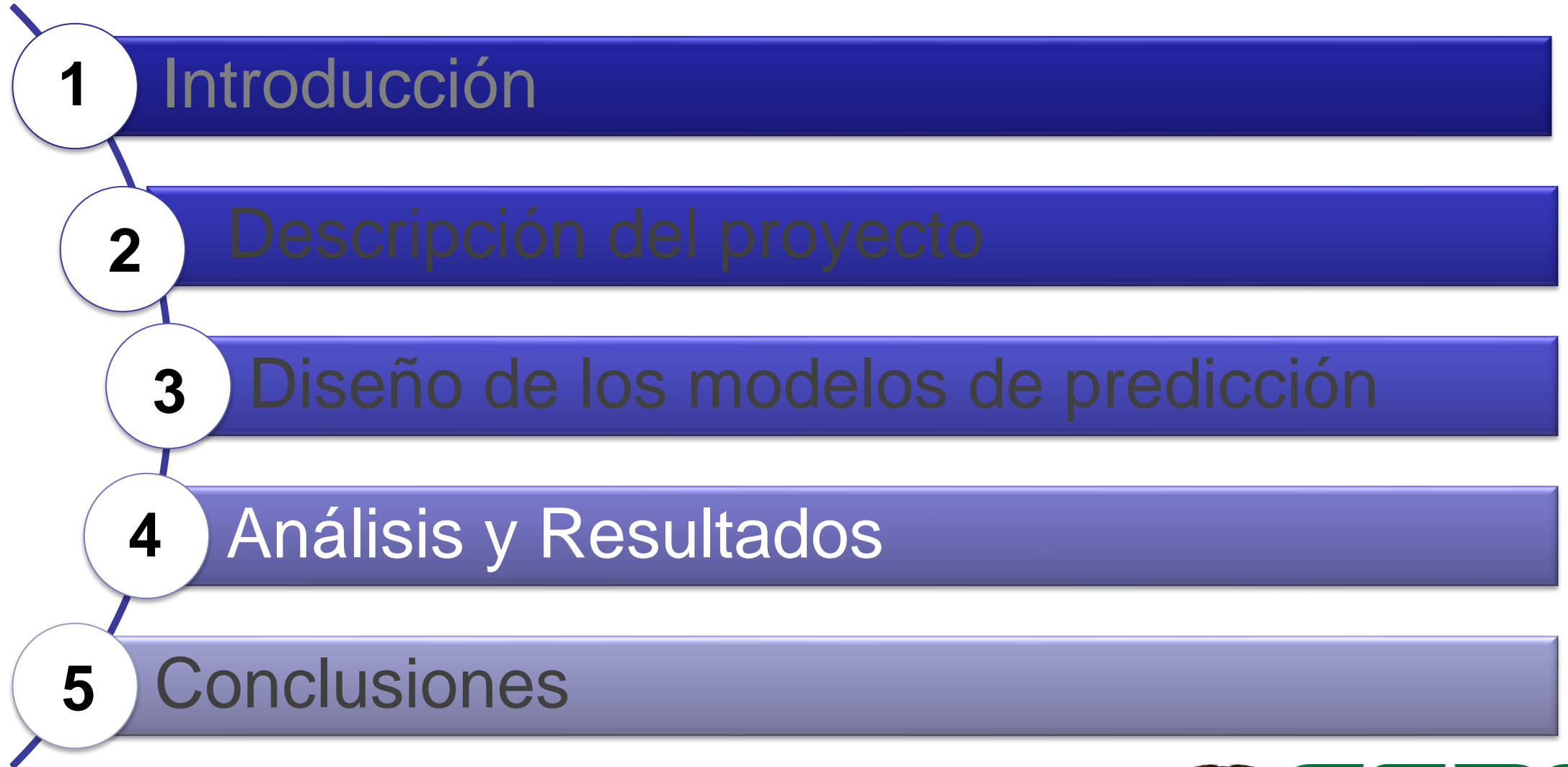
Red Neuronal perceptrón multicapa

Tabla 6. Parámetros de ajuste para la técnica Red Neuronal – Perceptrón Multicapa

Neural Network - Multilayer Perceptrón						
Predicted variable	Inputs variables	Input layer neurons	N° Epoch	Batch size	Hidden layer neurons	Activation function
Temperature	Solar radiation, relative humidity, wind speed	3	5000	128	32	Hidden: ReLU Out: Sigmoid
Solar radiation	Temperature, relative humidity, wind speed	3	5000	128	32	Hidden: ReLU Out: Sigmoid
Wind speed	Temperature, solar radiation, relative humidity	3	3000	128	32	Hidden: ReLU Out: Sigmoid
Relative Humidity	Temperature, solar radiation, wind speed	3	5000	128	32	Hidden: ReLU Out: Sigmoid



Itinerario



Coefficiente de determinación (R^2)

$$R^2 = 1 - \frac{\sum (y_c - \hat{y}_c)^2}{\sum (y_c - \bar{y})^2}$$

Error cuadrático medio (RMSE)

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{o} \sum_{c=1}^o (y_c - \hat{y}_c)^2}$$

Error porcentual absoluto medio (MAPE)

$$MAPE = \frac{1}{o} \sum_{c=1}^o \left| \frac{y_c - \hat{y}_c}{y_c} \right| * 100\%$$

Error absoluto medio (MAE)

$$MAE = \frac{1}{o} \sum_{c=1}^o |y_c - \hat{y}_c|$$

Donde: y_c : valores que toma la variable real, \hat{y}_c : son los valores de la predicción, \bar{y} : promedio de los valores tomados por la variable real, o : tamaño de la muestra.



Predicción de Temperatura

Technique	Coefficient of determination (R^2)	Mean absolute error (MAE) [$^{\circ}C$]	Mean absolute percentage error (MAPE) [%]	Mean square error (RMSE) [$^{\circ}C$]
Multiple linear regression	0.8244	0.6597	3.71	0.8453
Polynomial regression	0.8406	0.6097	3.51	0.8146
Decision tree	0.8593	0.5097	2.95	0.7333
Random forest	0.8631	0.4728	2.73	0.6621
XGboost	0.8599	0.5335	3.09	0.7565
Multilayer perceptron	0.8226	0.9124	5.51	1.2498

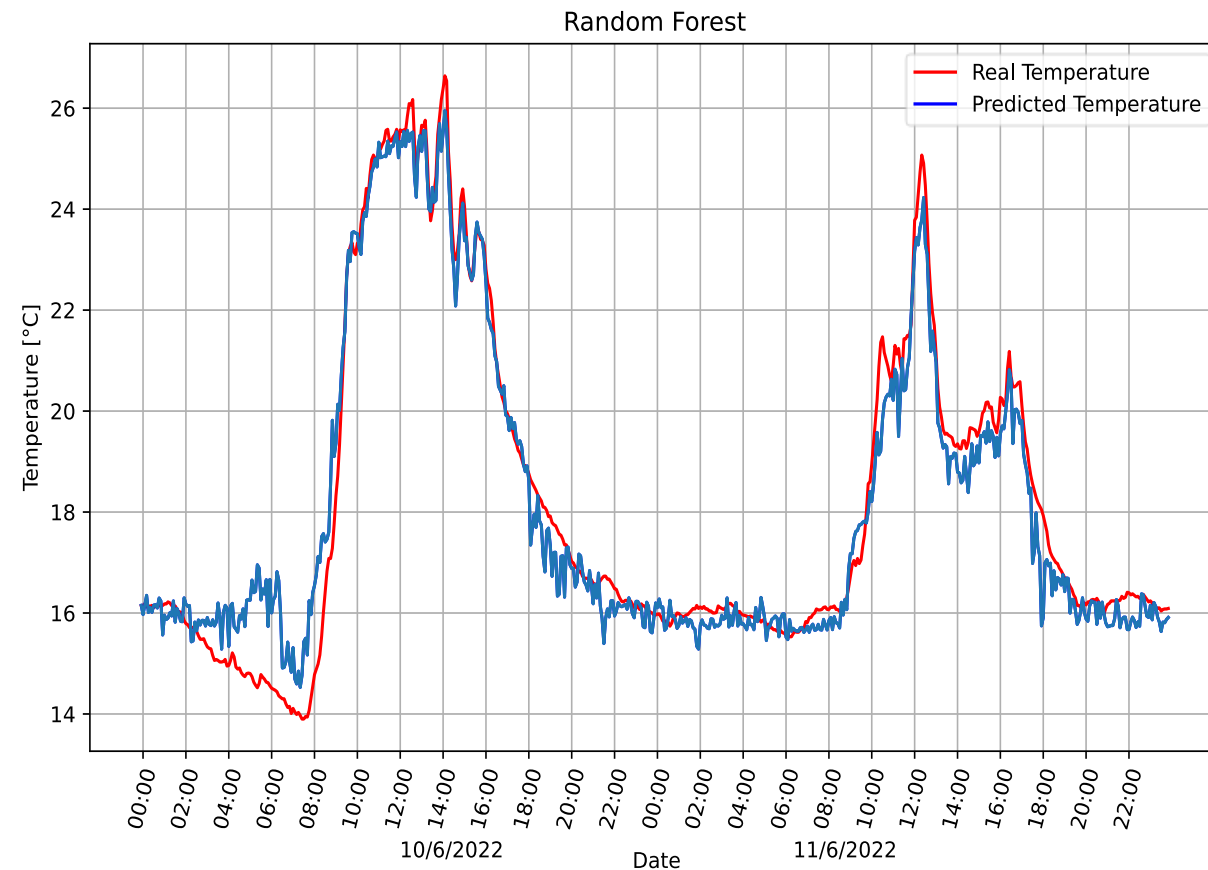


Figura 3. Predicción de Temperatura con la técnica:
(a) Random Forest

Predicción de Temperatura

Technique	Coefficient of determination (R^2)	Mean absolute error (MAE) [$^{\circ}C$]	Mean absolute percentage error (MAPE) [%]	Mean square error (RMSE) [$^{\circ}C$]
Multiple linear regression	0.8244	0.6597	3.71	0.8453
Polynomial regression	0.8406	0.6097	3.51	0.8146
Decision tree	0.8593	0.5097	2.95	0.7333
Random forest	0.8631	0.4728	2.73	0.6621
XGboost	0.8599	0.5335	3.09	0.7565
Multilayer perceptron	0.8226	0.9124	5.51	1.2498

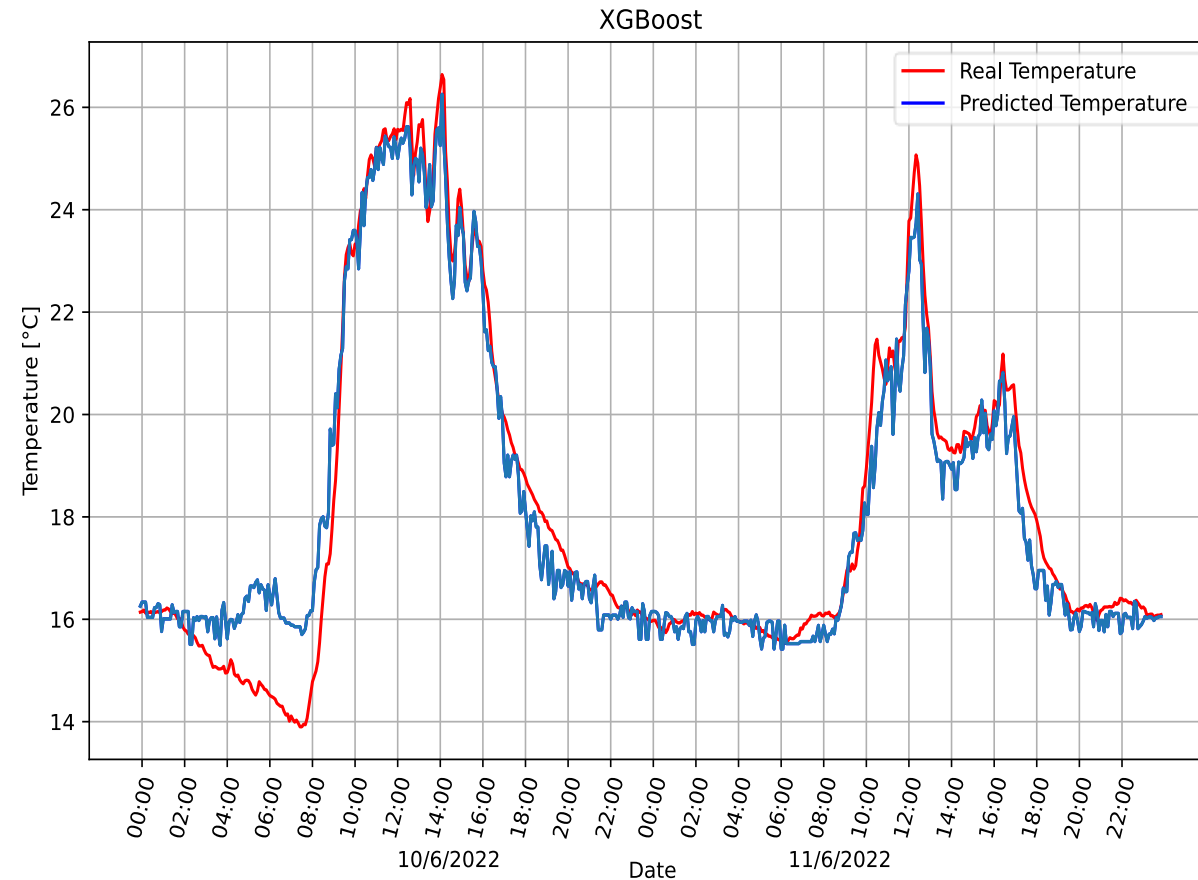
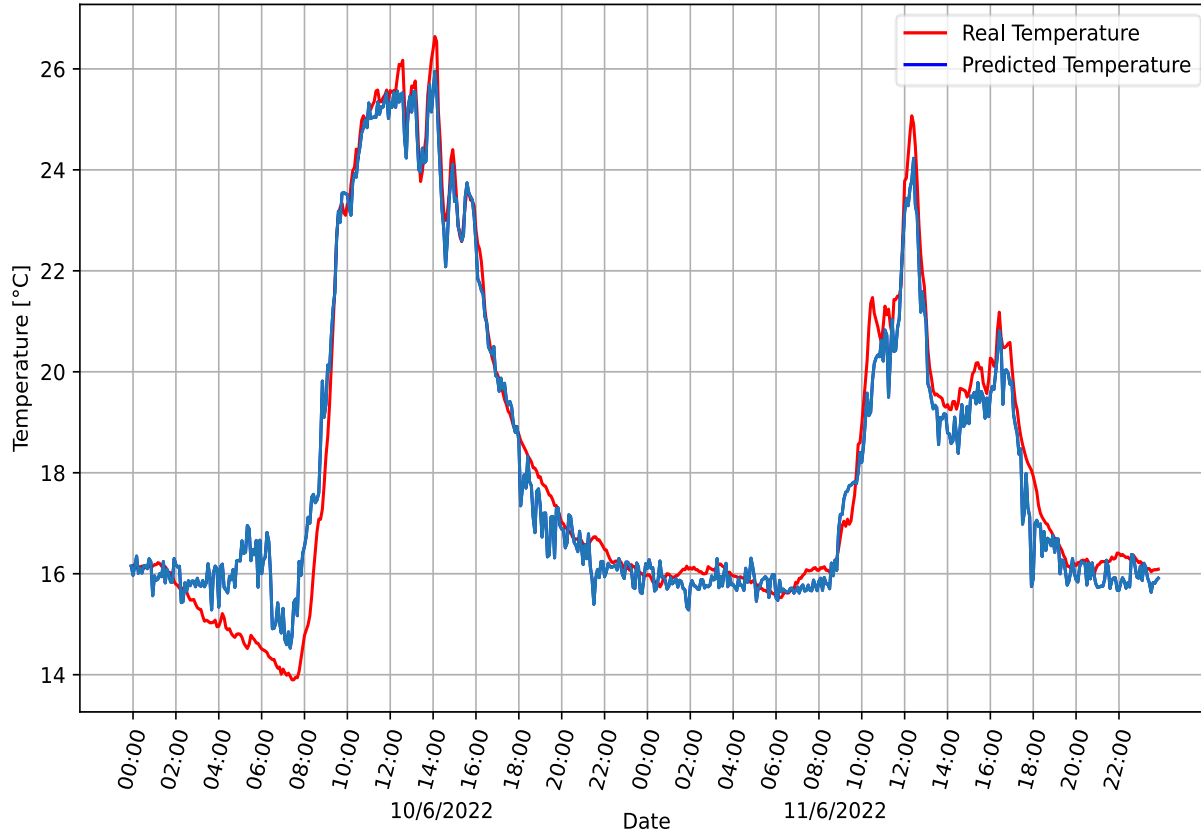


Figura 3 Predicción de Temperatura con la técnica:
(b) XGBoost



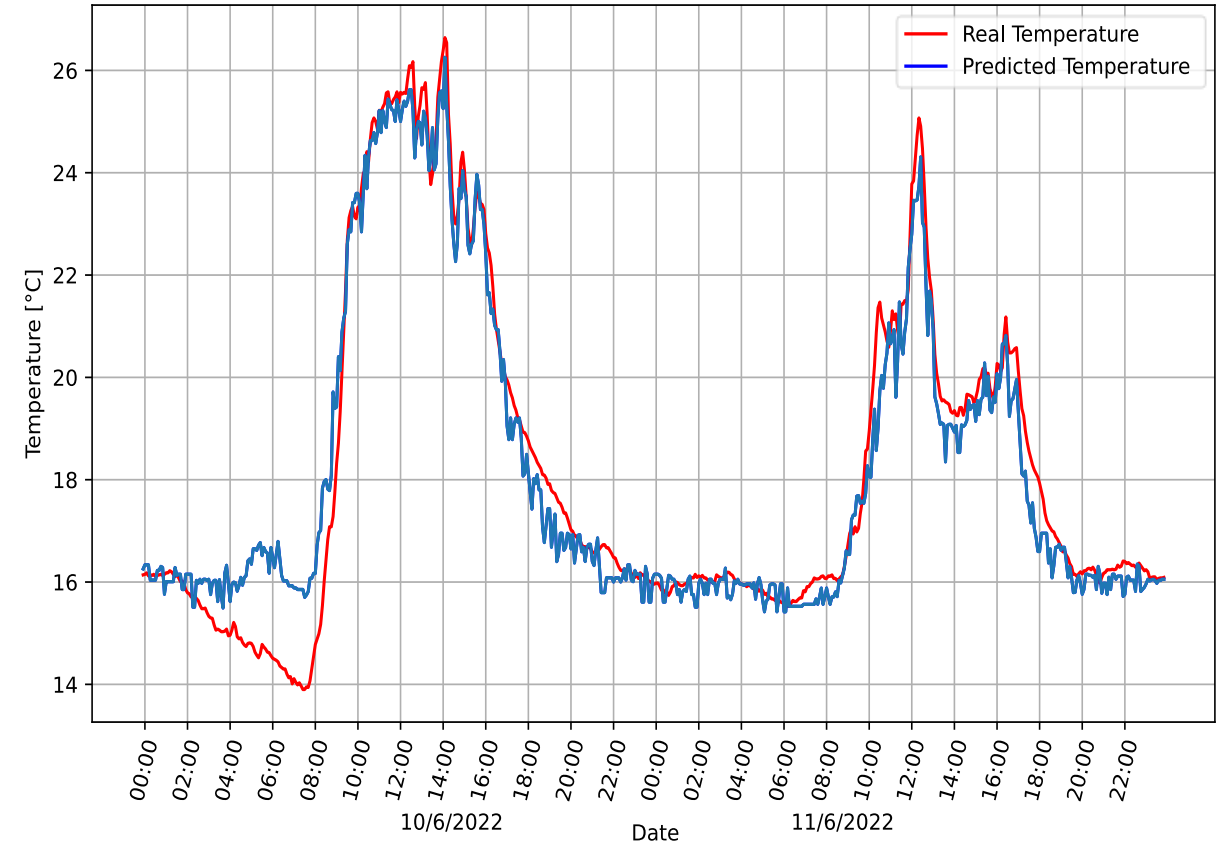
Predicción de Temperatura

Random Forest



(a)

XGBoost



(b)

Figura 3. Técnicas de predicción de Temperatura



Predicción de Humedad Relativa

Technique	Coefficient of determination (R^2)	Mean absolute error (MAE) [RH]	Mean absolute percentage error (MAPE) [%]	Mean square error (RMSE) [RH]
Multiple linear regression	0.7815	3.0900	3.56	3.7475
Polynomial regression	0.8420	2.2816	2.68	3.0163
Decision tree	0.8547	2.2685	2.65	3.2083
Random forest	0.8583	2.1380	2.50	2.9003
XGboost	0.8597	2.2907	2.67	3.1444
Multilayer perceptron	0.8013	4.6055	5.64	5.5759

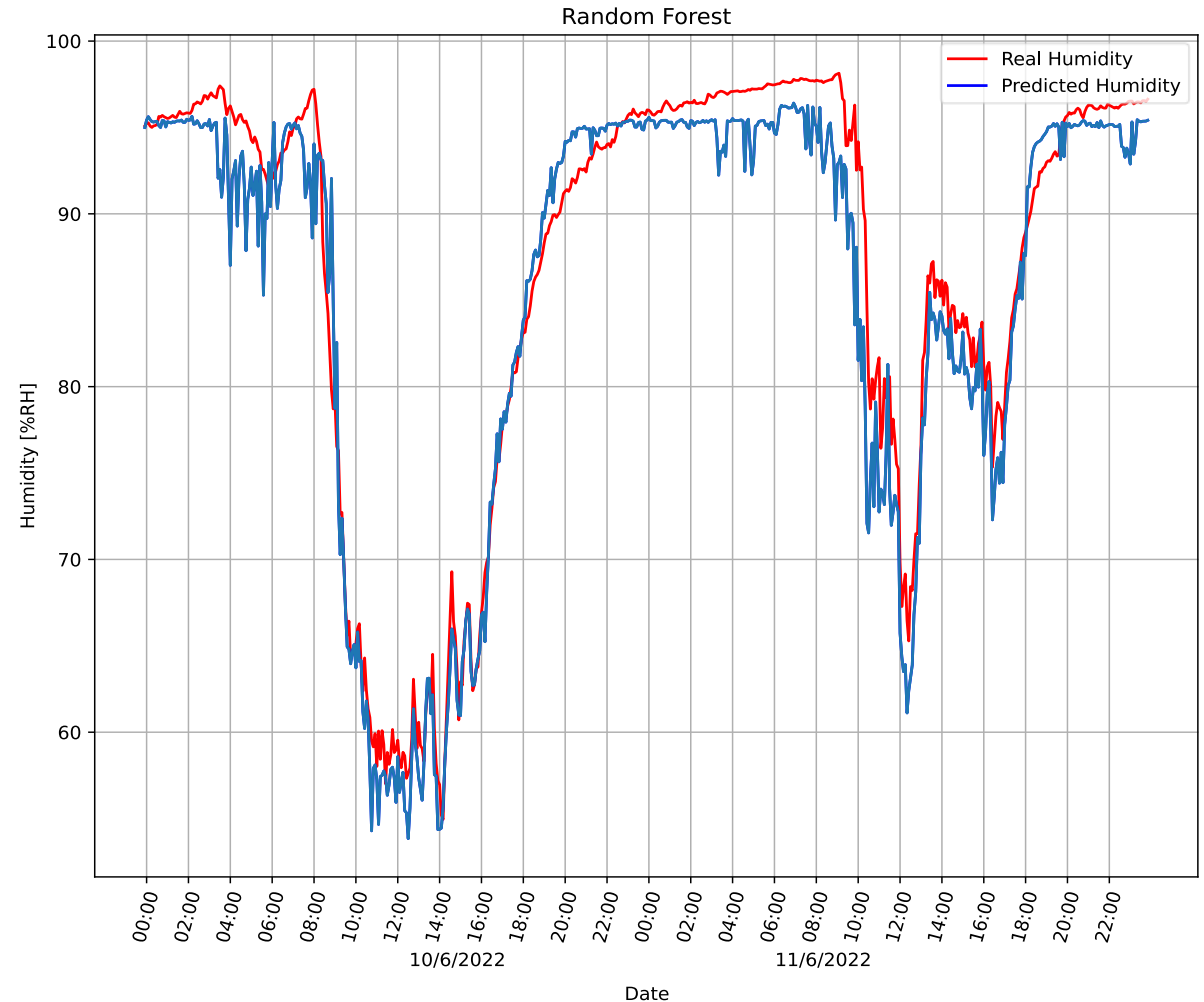


Figura 4. Predicción de Humedad Relativa con la técnica:
(a) Random Forest



Predicción de Humedad Relativa

Technique	Coefficient of determination (R^2)	Mean absolute error (MAE) [RH]	Mean absolute percentage error (MAPE) [%]	Mean square error (RMSE) [RH]
Multiple linear regression	0.7815	3.0900	3.56	3.7475
Polynomial regression	0.8420	2.2816	2.68	3.0163
Decision tree	0.8547	2.2685	2.65	3.2083
Random forest	0.8583	2.1380	2.50	2.9003
XGboost	0.8597	2.2907	2.67	3.1444
Multilayer perceptron	0.8013	4.6055	5.64	5.5759

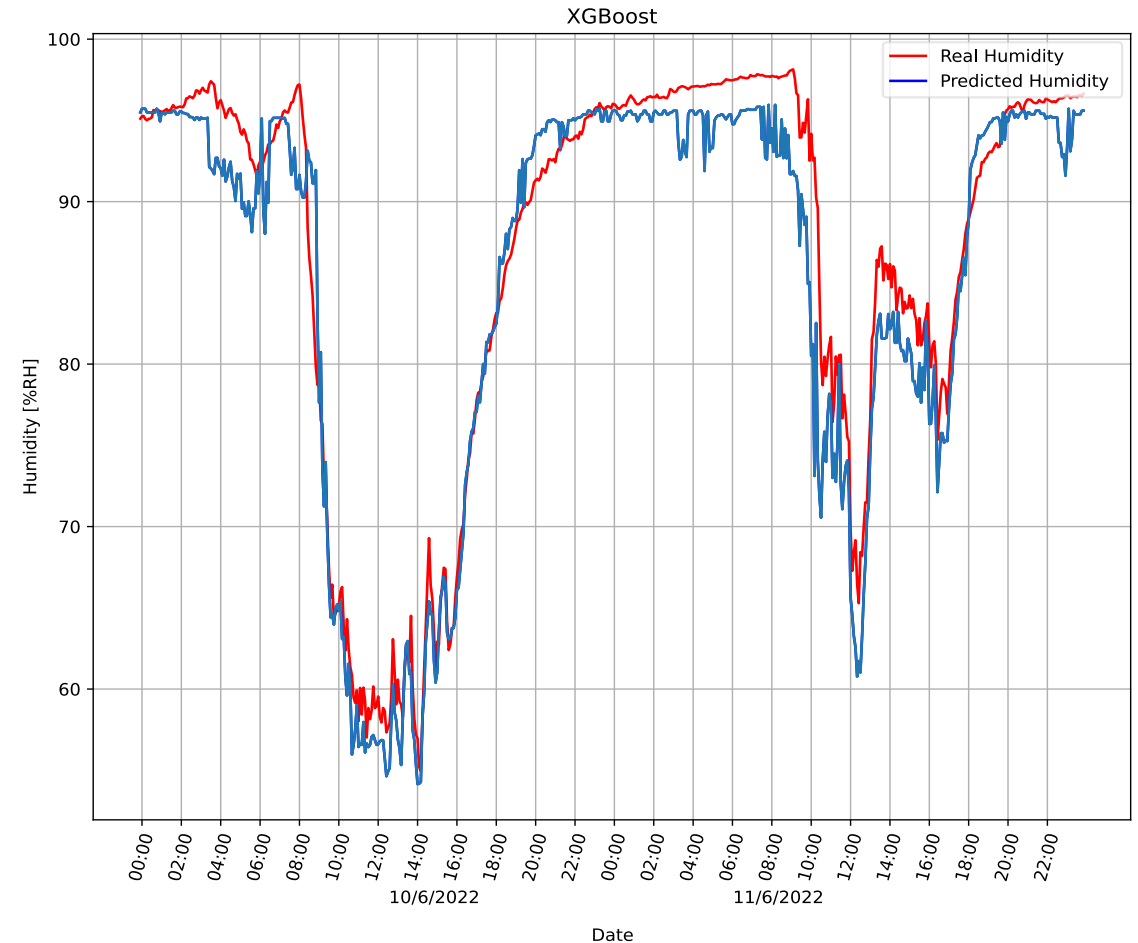
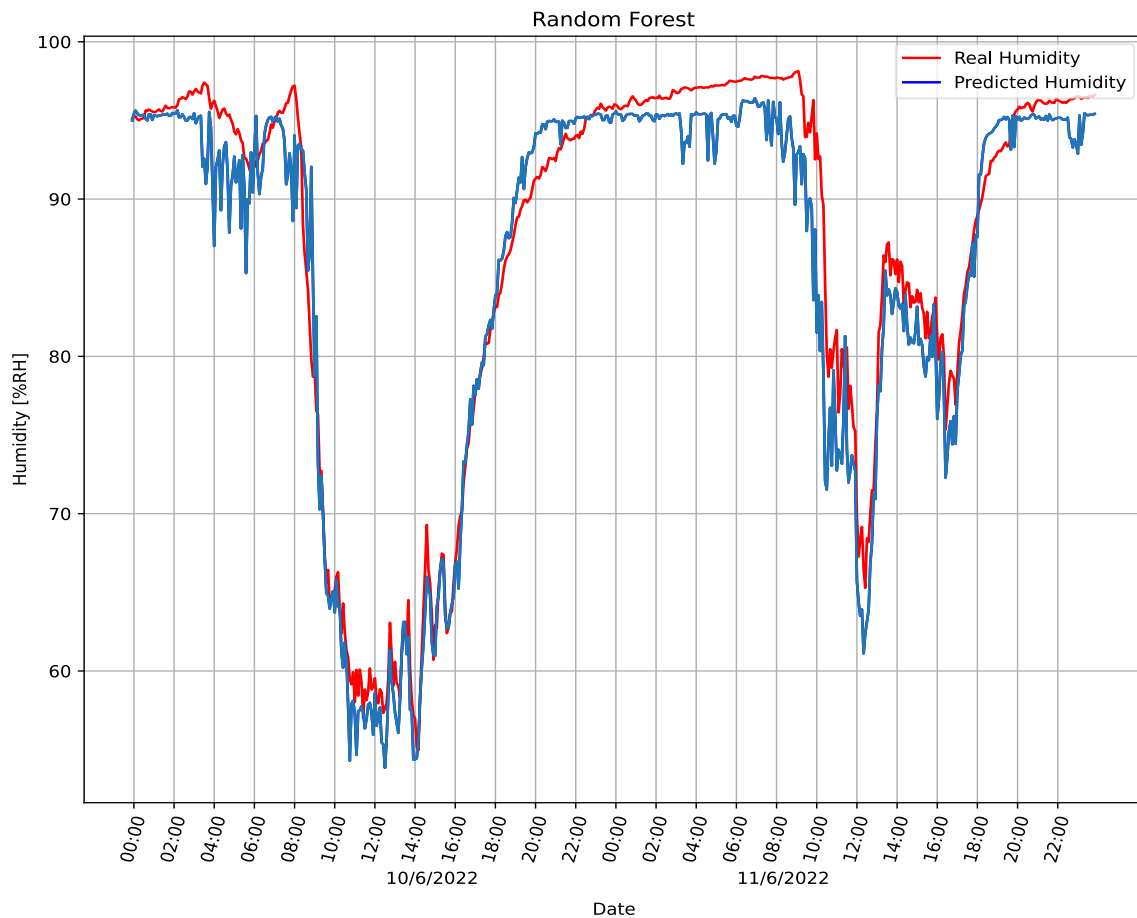


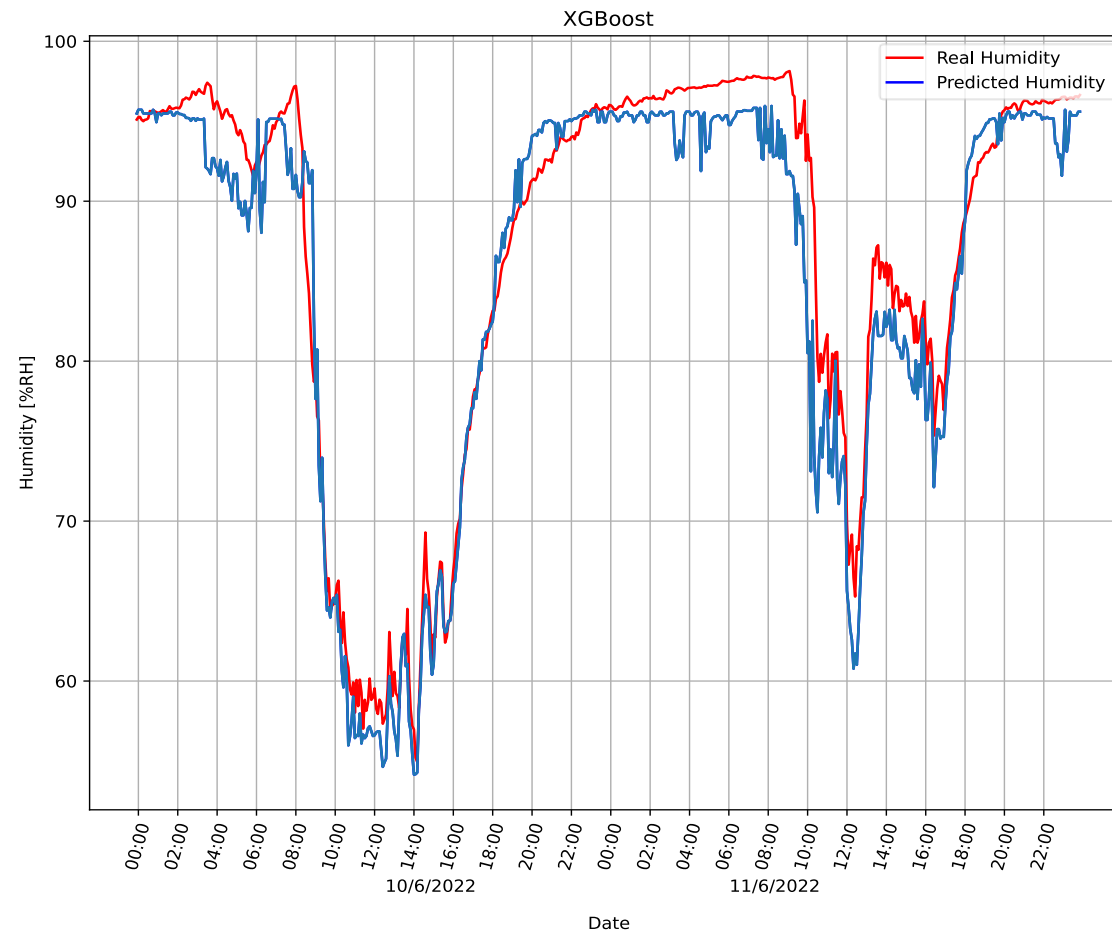
Figura 4. Predicción de Humedad Relativa con la técnica:
(b) XGBoost



Predicción de Humedad Relativa



(a)



(b)

Figura 4. Técnicas de predicción de Humedad Relativa



Predicción de Radiación Solar

Technique	Coefficient of determination (R^2)	Mean absolute error (MAE) [W/m^2]	Mean square error (RMSE) [W/m^2]
Multiple linear regression	0.6689	106.9741	164.7435
Polynomial regression	0.7394	76.6667	129.1836
Decision tree	0.7253	75.8177	127.3530
Random forest	0.7333	65.8105	105.9141
XGboost	0.7075	87.6137	145.0170
Multilayer perceptron	0.7423	88.5897	140.0681

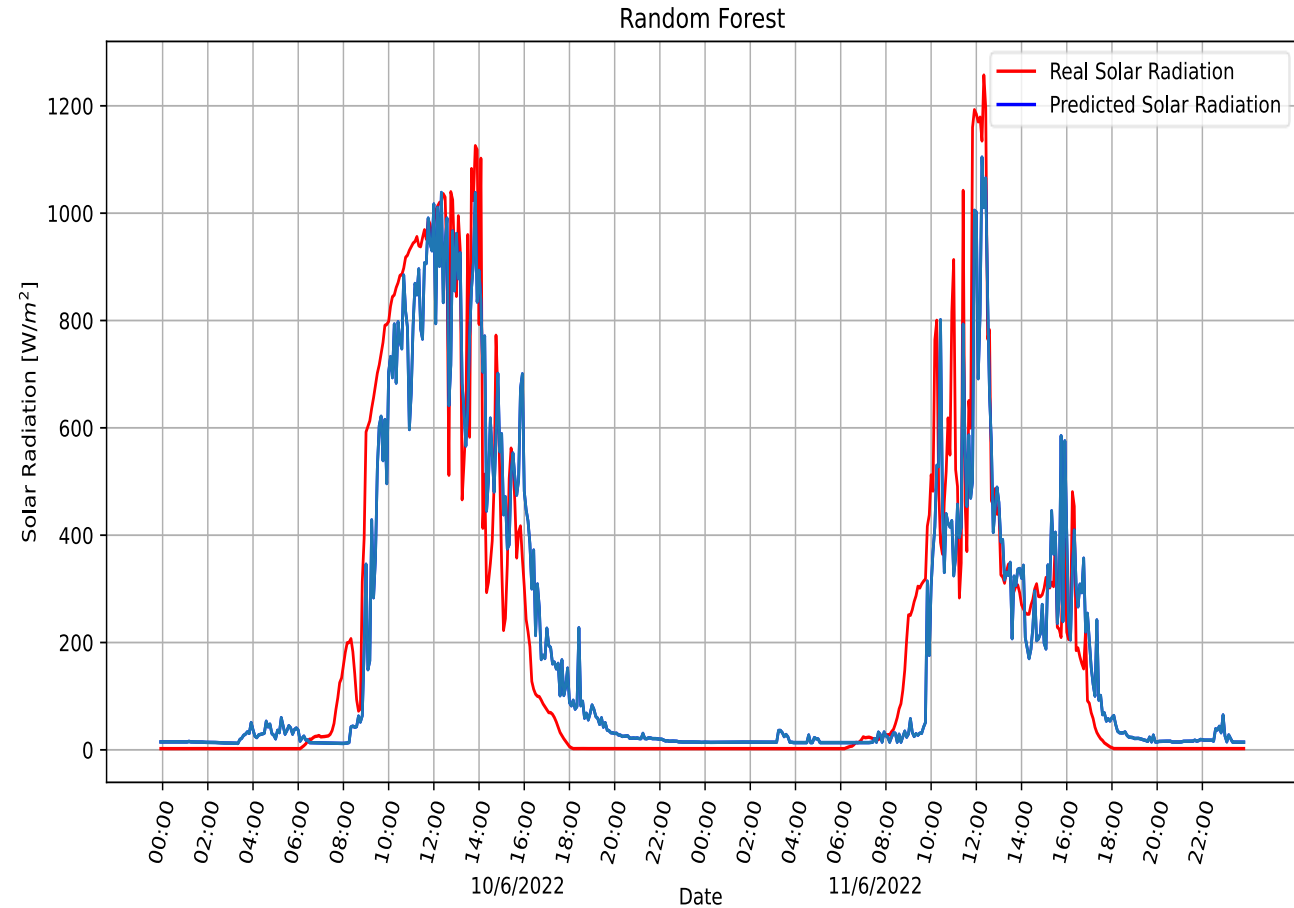


Figura 5. Predicción de Radiación Solar con la técnica:
(a) Random Forest

Predicción de Radiación Solar

Technique	Coefficient of determination (R^2)	Mean absolute error (MAE) [W/m^2]	Mean square error (RMSE) [W/m^2]
Multiple linear regression	0.6689	106.9741	164.7435
Polynomial regression	0.7394	76.6667	129.1836
Decision tree	0.7253	75.8177	127.3530
Random forest	0.7333	65.8105	105.9141
XGboost	0.7075	87.6137	145.0170
Multilayer perceptron	0.7423	88.5897	140.0681

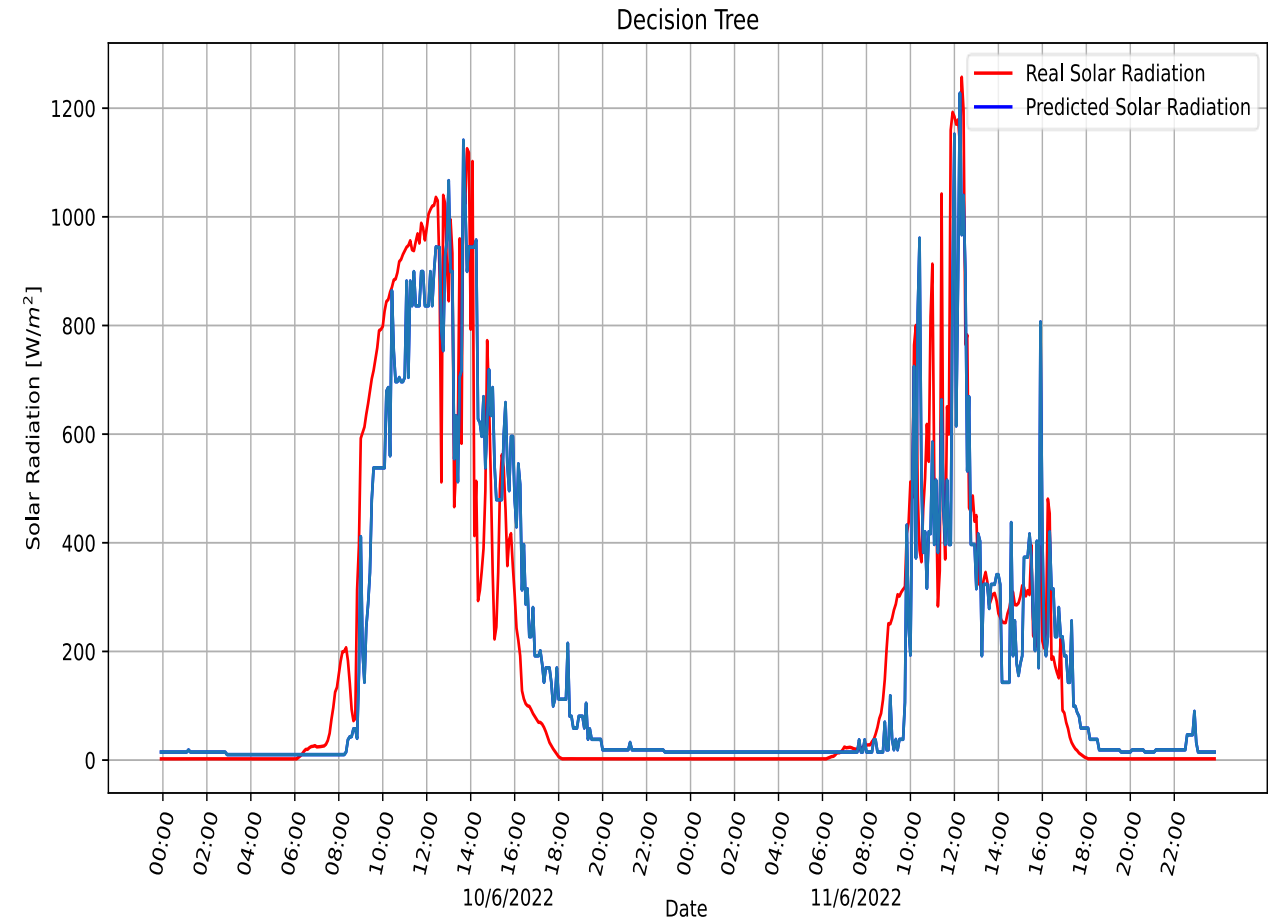
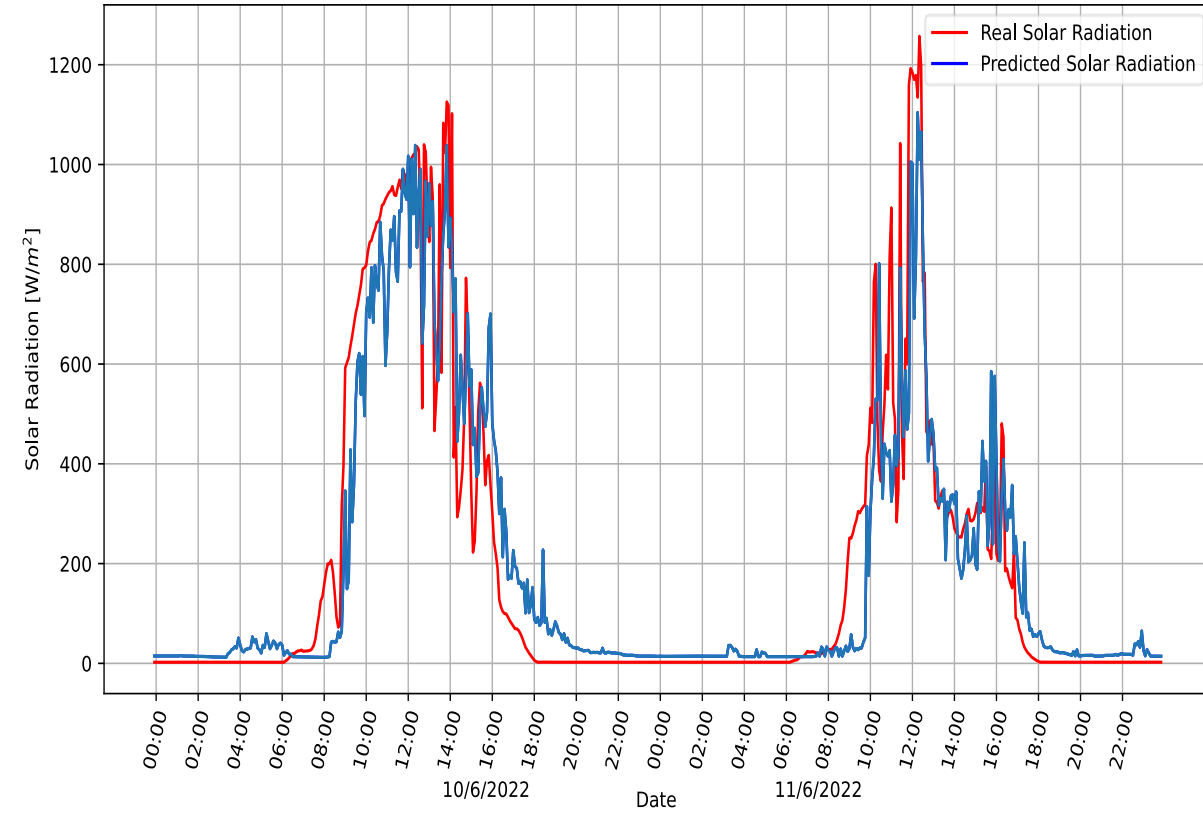


Figura 5. Predicción de Radiación Solar con la técnica:
(b) Decision Tree



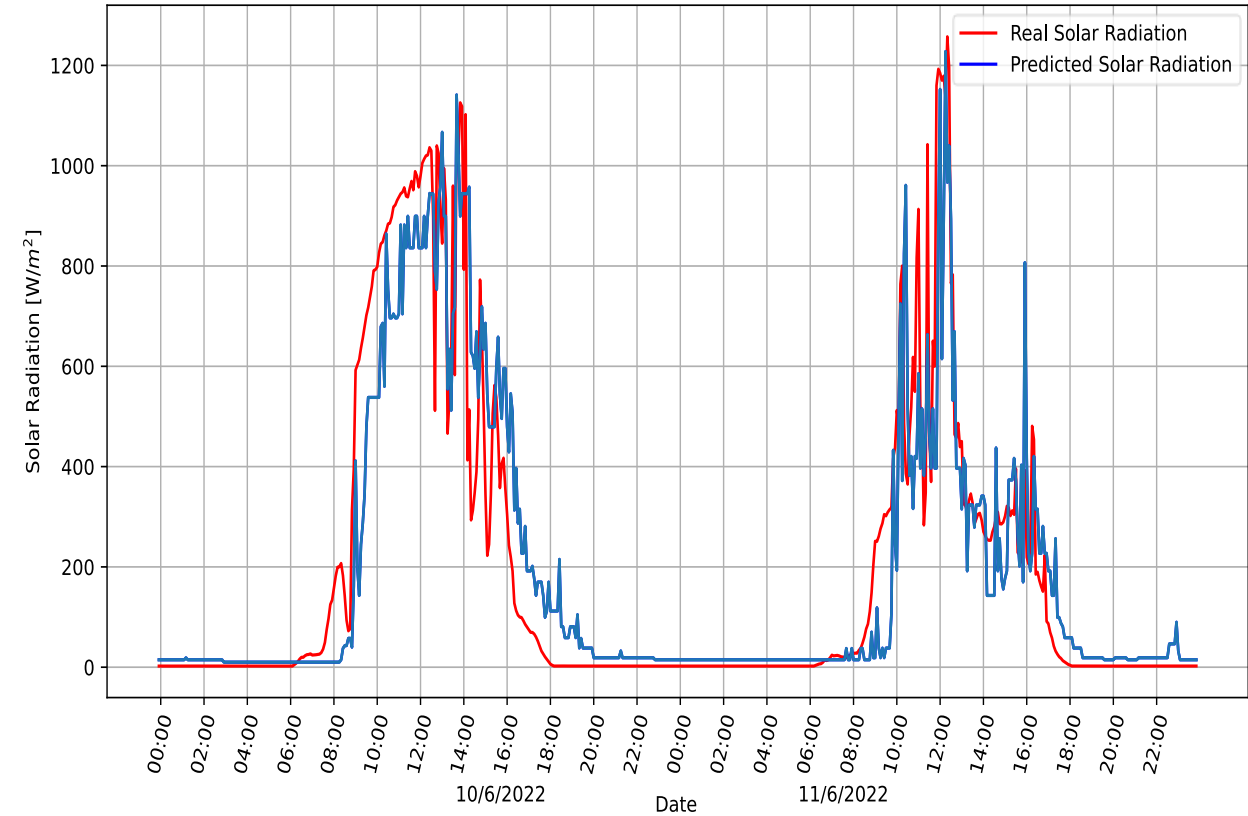
Predicción de Radiación Solar

Random Forest



(a)

Decision Tree



(b)

Figura 5. Técnicas de predicción de Radiación Solar



Predicción de Velocidad del viento

Technique	Coefficient of determination (R^2)	Mean absolute error (MAE) [m/s]	Mean square error (RMSE) [m/s]
Multiple linear regression	0.3428	0.1614	0.3354
Polynomial regression	0.3770	0.1428	0.3159
Decision tree	0.2142	0.1256	0.2705
Random forest	0.3660	0.1097	0.2136
XGboost	0.3866	0.1439	0.3131
Multilayer perceptron	0.3270	0.1654	0.3616

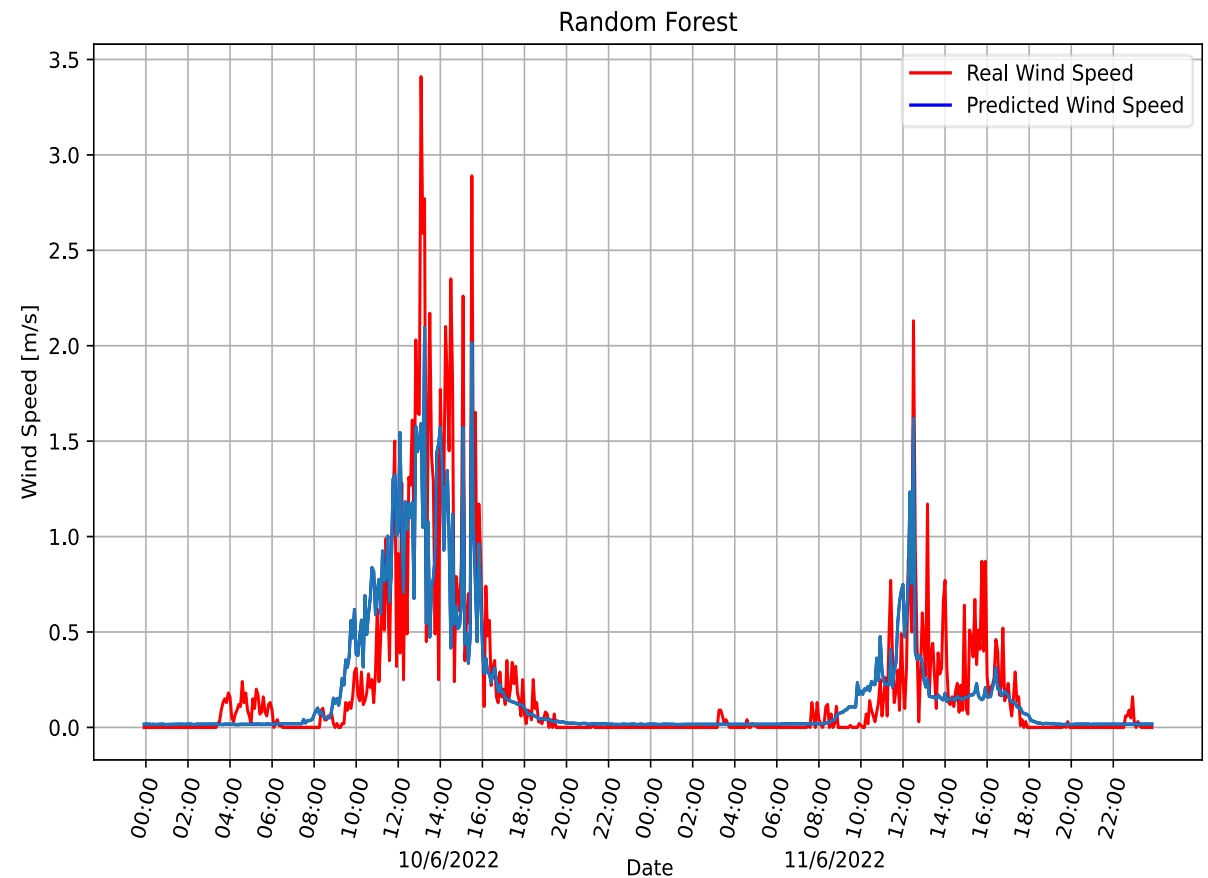


Figura 6. Predicción de Velocidad del viento con la técnica:
(a) Random Forest

Predicción de Velocidad del viento

Technique	Coefficient of determination (R^2)	Mean absolute error (MAE) [m/s]	Mean square error (RMSE) [m/s]
Multiple linear regression	0.3428	0.1614	0.3354
Polynomial regression	0.3770	0.1428	0.3159
Decision tree	0.2142	0.1256	0.2705
Random forest	0.3660	0.1097	0.2136
XGboost	0.3866	0.1439	0.3131
Multilayer perceptron	0.3270	0.1654	0.3616

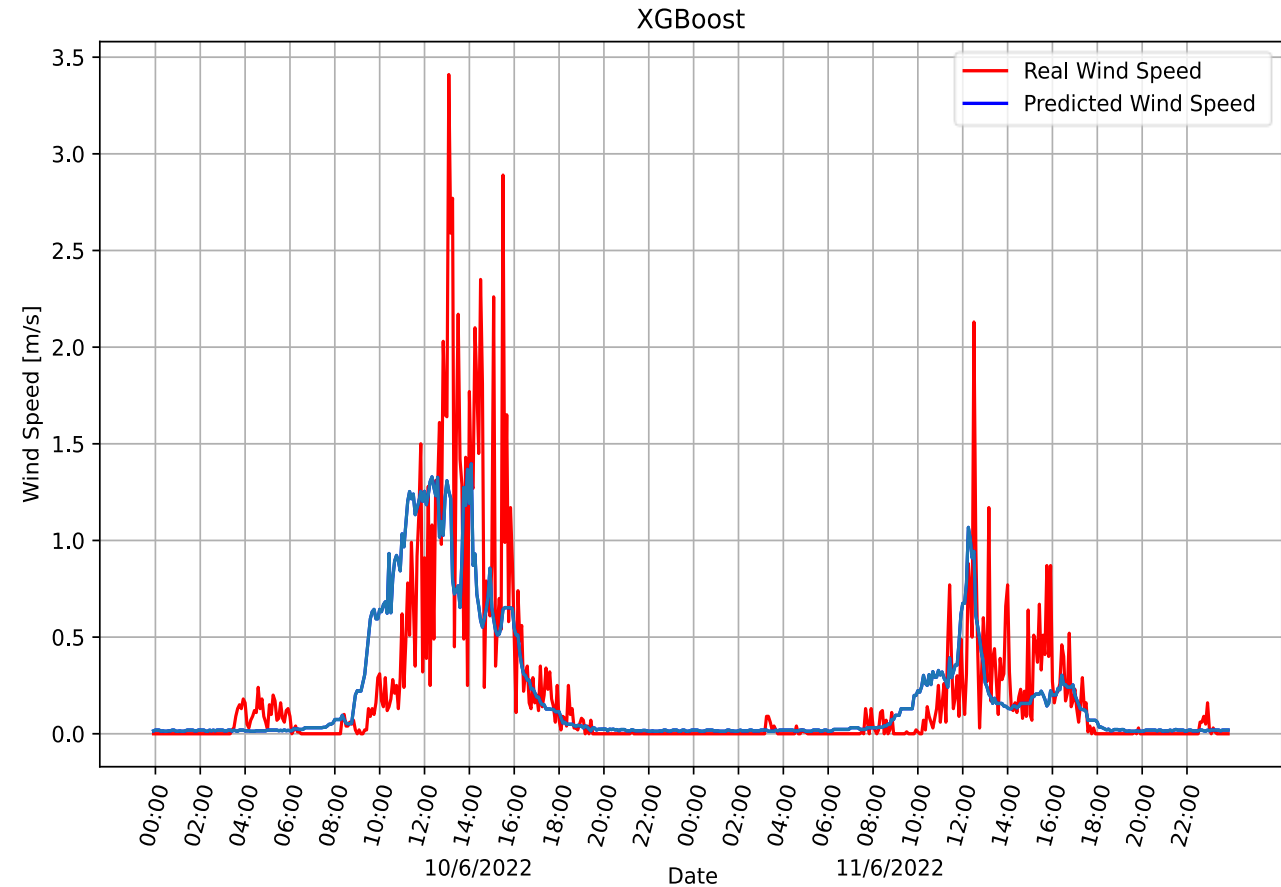


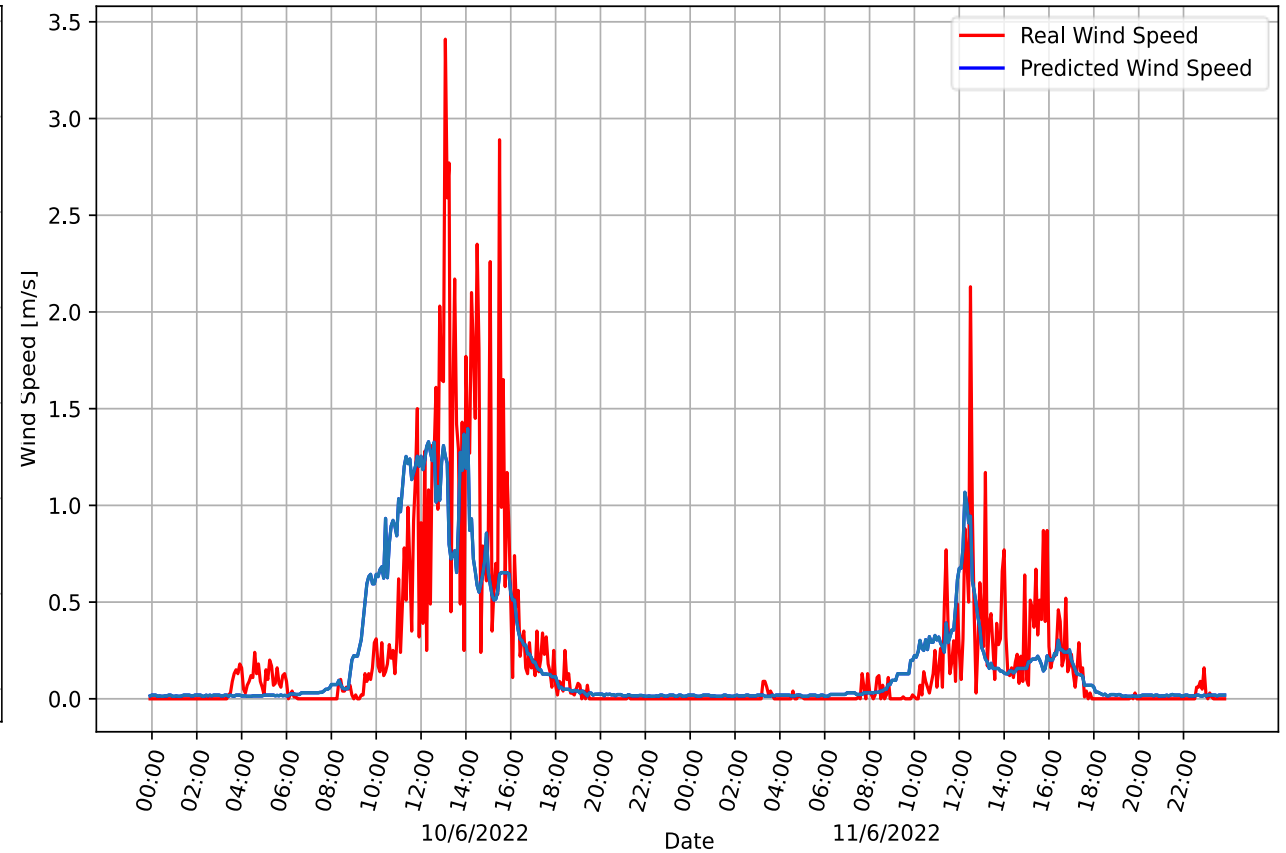
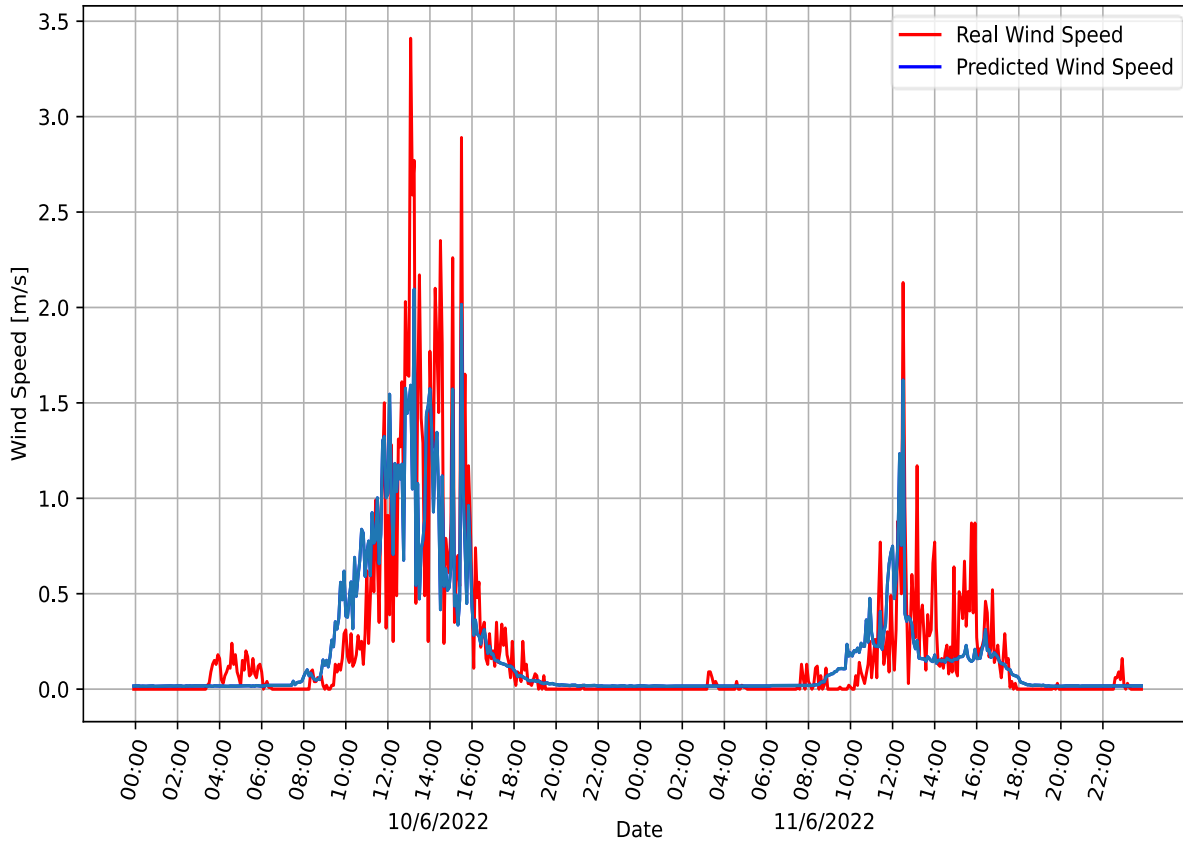
Figura 6. Predicción de Velocidad del viento con la técnica (b) XGBoost



Predicción de Velocidad del viento

Random Forest

XGBoost



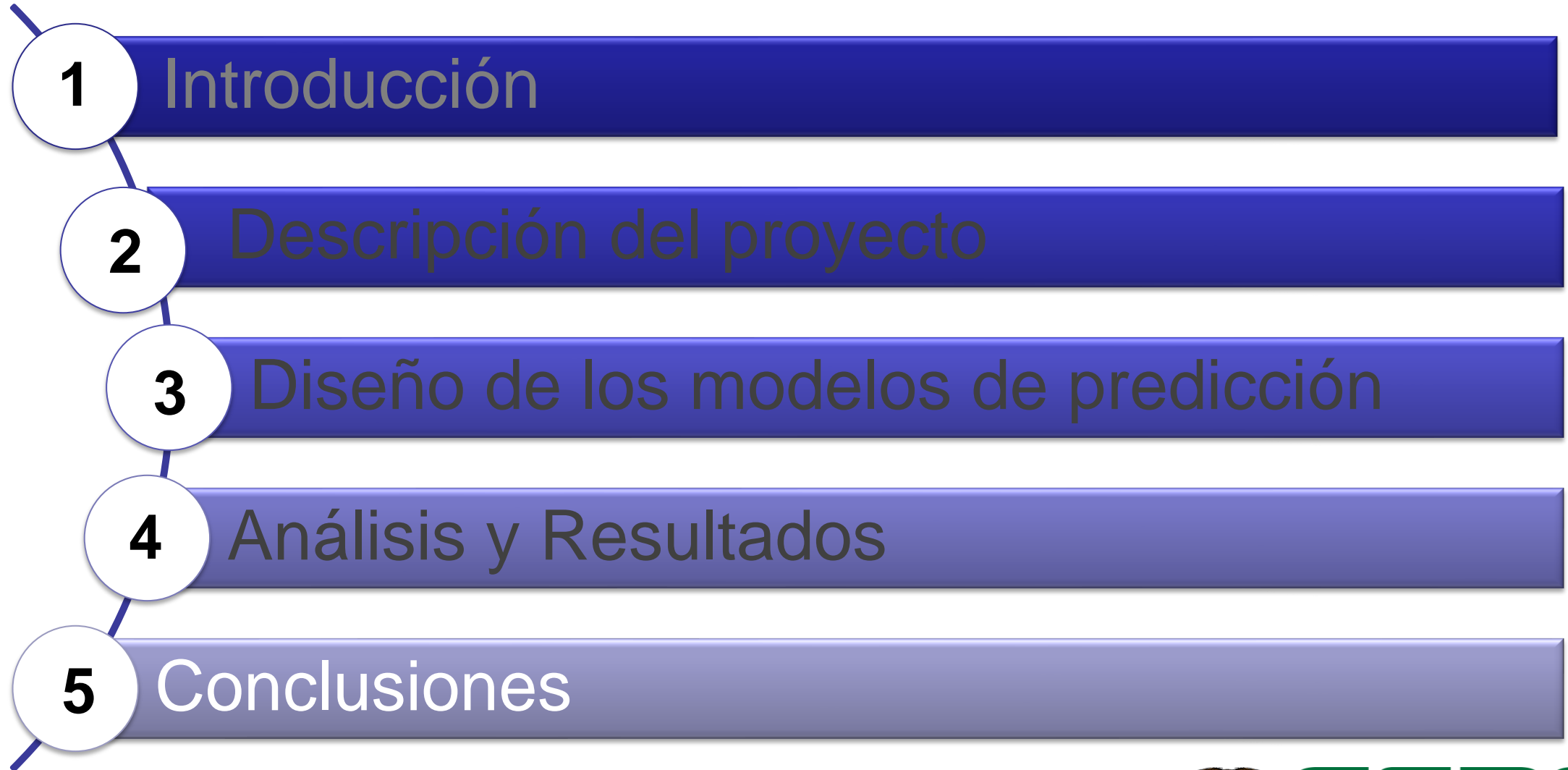
(a)

(b)

Figura 6. Técnicas de predicción de Velocidad del viento



Itinerario



- Para el pronóstico de las variables meteorológicas en esta investigación se utilizó información obtenida de la estación meteorológica Parque de la Familia Baños ubicada en Ecuador y se probaron las siguientes técnicas de predicción: regresión lineal múltiple, regresión polinomial, árbol de decisión, bosque aleatorio, XGboost y red neuronal perceptrón multicapa.
- Para la predicción de la variable temperatura, se obtiene un mejor resultado utilizando Random Forest con un R^2 de 0,8631, MAE de 0,4728°C, MAPE de 2,73% y RMSE de 0,6621°C.
- Para predecir la variable de humedad relativa, se obtiene un mejor resultado utilizando Random Forest con una R^2 de 0,8583, MAE de 2,1380 HR, MAPE de 2,50 % y RMSE de 2,9003 HR.



Conclusiones

- Para la predicción de la variable de radiación solar, se obtiene un mejor resultado utilizando Random Forest con un R^2 de 0,7333, un MAE de 65,8105 W/m^2 y un RMSE de 105,9141 W/m^2 .
- Para predecir la variable de velocidad del viento, se obtiene un mejor resultado utilizando Random Forest con un R^2 de 0,3660, un MAE de 0,1097 m/s y un RMSE de 0,2136 m/s .
- Se puede observar que la velocidad del viento tiene la mayor variabilidad en comparación con las demás variables predichas, por lo tanto, los resultados de las técnicas implementadas muestran que el coeficiente de determinación (R^2) de esta variable tiene un valor menor y esto se debe al tipo de señal que se pretende predecir, sin embargo, se obtuvieron predicciones aceptables.



- La predicción de variables meteorológicas (temperatura, radiación solar, velocidad del viento y humedad relativa) permitirá implementar futuros proyectos en la zona de estudio, tales como la agricultura inteligente para apoyar los problemas alimentarios de la zona y la implementación de una microrred basada en recursos renovables donde los modelos de predicción apoyarán la planificación y operación de la microrred en tiempo real, permitiendo el suministro de energía limpia a esta localidad, contribuyendo a la reducción del uso de recursos fósiles, que es el objetivo que diferentes países se han fijado como parte de sus políticas.



Gracias



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA