

# Projecte final

David Hernández Sánchez

Alumne de DataScience

IT Academy

Barcelona, Catalunya

dissenyador@gmail.com

**Abstract**—En aquest document explicaré com he elaborat diversos models predictius per tal de pronosticar el nivell d'aigua de l'embassament de Darnius-Boadella. Amb aquest objectiu he elaborat diferents models d'autoregressió que fan servir una serie temporal dels últims 22 anys del nivell de l'embassament escollit, així com una altra serie de la precipitació a la mateixa ubicació de l'embassament com a variable exògena. El resultat ens diu que és molt important que les dades de precipitació provenguin d'una ubicació que tingui un impacte important en el nivell de l'embassament, sino no milloraran el model, com ha sigut el nostre cas. En definitiva, que necessitem dades externes amb una forta correlació amb les dades a pronosticar per obtenir una bona predicció, doncs amb un model autoregressiu sense cap variable exògena, serà difícil detectar grans variacions del nivell de l'embassament degut a plujes intenses o períodes de sequera.

## I. INTRODUCTION

Tenim una base de dades amb una serie temporal des del 01-01-2000 fins al 13-12-2022 de tots els embassaments de les conques internes de Catalunya, així com un altre serie temporal des del 01-01-2000 fins al 16-12-2022 de la precipitació a l'estació automàtica ubicada a l'embassament de Darnius-Boadella.

Volem predir el nivell de l'embassament de Darnius-Boadella fent servir la serie històrica del nivell de l'embassament així com la precipitació com a variable exògena.

Amb aquest objectiu comprovarem que les series històriques estiguin completes, en cas contrari les completarem. A continuació mirarem la relació existent entre les dues variables que volem fer servir per a la predicció. Posteriorment desenvoluparem diversos models autoregressius fent servir aquestes variables i finalment compararem els resultats de tots els models i extreurem conclusions.

## II. STATE OF ART

No he trobat enlloc cap model predictiu sobre el nivell de qualsevol dels embassaments de Catalunya, però si una publicació de l'Agència Catalana de l'Aigua, de títol **Aigua i canvi climàtic** [1] sobre l'afectació a les masses d'aigua de Catalunya pel canvi climàtic, que fa una diagnosi sobre els impactes previstos. En aquest document, encara que

no es presenta cap model predictiu, si que es presenten diferents escenaris futurs de les aportacions del riu Muga a l'embassament de Darnius, basats en diferents models climàtics. En tots els casos la previsió es d'una disminució considerable, entre el 16.3% i el 38.4%, en l'aportació del riu Muga a l'embassament de Darnius. Encara que aquestes previsions es focalitzen en períodes molt llunyans, a partir del 2070, així que no es comparable al nostre model, que s'enfocaria en un període de temps molt més propers, és a dir en els pròxims anys.

Un altre factor a tenir en compte, encara que en molt menor mesura que la precipitació, i que no he introduït al nostre model, és l'augment de la temperatura ambiental que comporta un increment en l'evaporació de l'aigua dels rius i embassaments, disminuint el seu cabdal. En aquesta publicació s'esmenta aquest factor en referència a les previsions de recursos hídrics: *Aquests supòsits encara no incorporen els canvis significatius que es puguin donar en l'evaporació als embassaments (probables creixements del 5%), que tot i tractar-se d'un factor de segon ordre, també seran un element més afegit a escenaris futurs de més escassetat hídrica.*

Per un altre banda, en la memòria tècnica del **Pla especial d'actuació en situació d'alerta i eventual sequera** [2] també elaborat per l'Agència Catalana de l'Aigua, trobem que en l'apartat 2.2.Tendències, i cito textualment, *en l'actualitat es podria estar produint una certa tendència a la baixa en les aportacions fluvials dels nostres rius.[...] a nivell pluviomètric només ara es comencen a detectar aquest tipus de tendències, i així ho confirmen els darrers Butlletins Anuals d'Indicadors Climàtics del Servei Meteorològic de Catalunya, que mostren una reducció mitjana de la pluja anual de l'ordre del 1,5% per dècada. [...] En definitiva, es tracta d'un fenomen encara en estudi però que en tot cas és preocupant per dos motius: en primer lloc perquè posaria en compromís la representativitat de les sèries històriques en moltes de les anàlisis que les utilitzen suposant la seva invariabilitat; i en segon lloc perquè planteja importants dubtes sobre la gestió dels propers anys si es mantenen aquestes tendències.*

### III. METODOLOGIA

#### A. Preprocessat

a) **Dataframes:** En aquest projecte hem treballat amb dos dataframes. El dataframe **embassaments.csv** conté dades sobre la quantitat d'aigua als embassaments de les Conques Internes de Catalunya. Conté 8358 registres i es compon de 5 columnes:

**Dia:** Data de la mesura. Freqüència diària.  
Tipus de variable: DateTime (dd/mm/yyyy).

**Estació:** embassament on s'ha fet la mesura.  
Tipus de variable: String.

**Nivell absolut (msnm):** Nivell de l'aigua a l'embassament.  
Tipus de variable: Numérica (float).

**Percentatge volum embassat (%):** Percentatge de volum d'aigua emmagatzemat respecte la capacitat màxima de l'embassament.  
Tipus de variable: Numérica (float).

**Volum embassat (hm3):** Volum d'aigua emmagatzemat a l'embassament.  
Tipus de variable: Numérica (float).

El dataframe **Darnius - Boadella.csv** conté dades sobre la precipitació de l'embassament de Darnius – Boadella. Conté 8345 registres i es compon de dues columnes:

**DATA:** Data de la mesura. Freqüència diària.  
Tipus de variable: DateTime (dd/mm/yyyy).

**PPT:** Precipitació acumulada diària. Mesurada en mm.  
Tipus de variable: Numérica (float).

Del Dataframe **embassaments.csv** hem copiat tota la informació de l'embassament que ens interessa, en aquest cas el Darnius Boadella, en un altre dataframe. Hem llistat la informació d'aquest nou dataframe i hem vist que només conté 8358 registres, així doncs falten dies en la sèrie històrica, doncs del 01-01-2000 fins al 13-12-2022 hi han 8383 dies. Així que hem completat la sèrie històrica amb els dies faltants i omplert les columnes corresponents a aquests dies amb 0, assignant-li al dataframe una freqüència diària. Després hem passat la columna Dia a format DateTime i l'hem fet servir com a index del dataframe. A continuació hem buscat els possibles NaNs i els que hem trobat els hem substituït per la mitjana del valor anterior i posterior de manera manual, doncs només havia 4 NaNs. Després hem buscat tots els valors que estiguin a 0 mitjançant un bucle for i els hem substituït també per la mitjana del valor anterior i posterior.

Al Dataframe **Darnius - Boadella.csv** hem seguit el mateix procediment inicial que a l'anterior. Hem vist que només conté 8345 registres, així doncs també falten dies en la sèrie històrica, i l'hem completat amb els dies faltants omplint la columna de precipitació corresponent a aquests dies amb 0, i li hem assignat al dataframe una freqüència diària. Després hem passat la columna Dia a format DateTime i l'hem fet servir com a index del dataframe. A continuació hem buscat els possibles NaNs però no hem trobat cap. Com que les dades de precipitació contingudes en aquest dataframe no són contínues no podem fer servir una mitjana dels valors veïns per omplir els buits com hem fet al dataframe anterior.

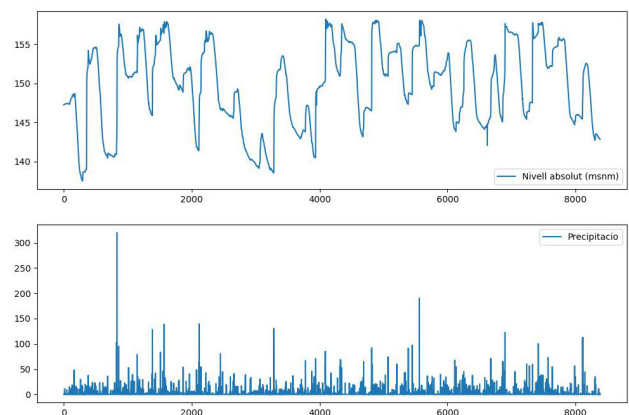
Com que el número d'observacions de la sèrie temporal de precipitacions té 3 dates més al final que la de la sèrie temporal de l'embassament, treiem aquestes 3 dates perquè ambdues sèries siguin iguals.

Comprovem que tant la sèrie de precipitacions com la de l'embassament tenen el mateix número de dades, en el mateix interval de temps, i amb la mateixa freqüència, i que totes les dades són numèriques per poder treballar amb elles.

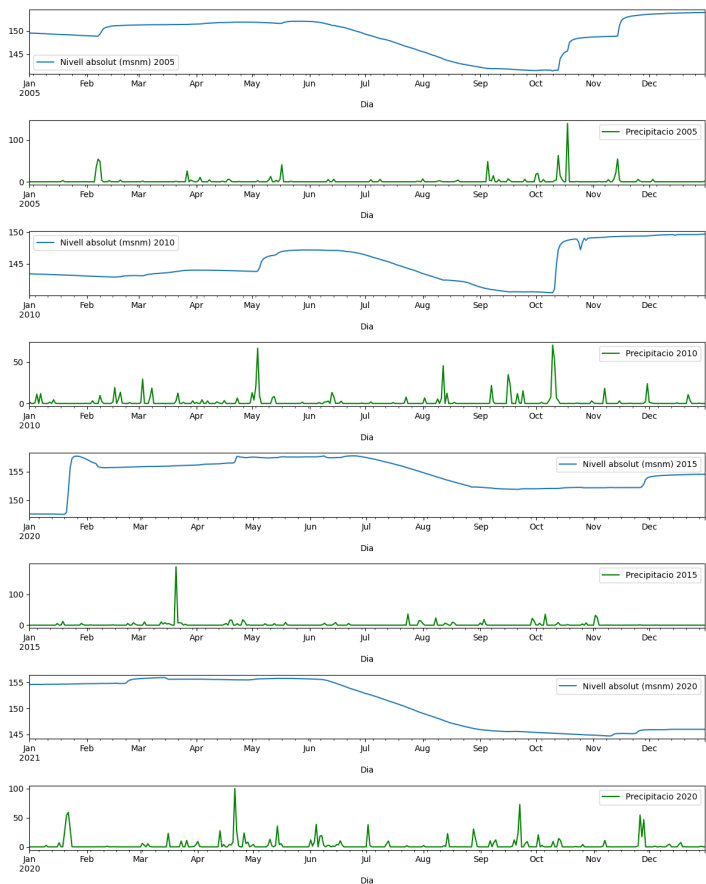
Unim els dos dataframes en un de sol i el guardem per poder fer-lo servir posteriorment.

b) **Anàlisi estadística:** Analitzem estadísticament el Dataframe per veure quina és la mitjana, desviació, així com les diferències estadístiques entre les diferents columnes. Comprovem que no hi han grans desviacions en general a cap columna. Per una altra banda, fent un cop d'ull als valors mínims, màxims i als diferents percentatges (25%, 50% i 75%), veiem que els valors es distribueixen de manera força homogènia a totes les columnes.

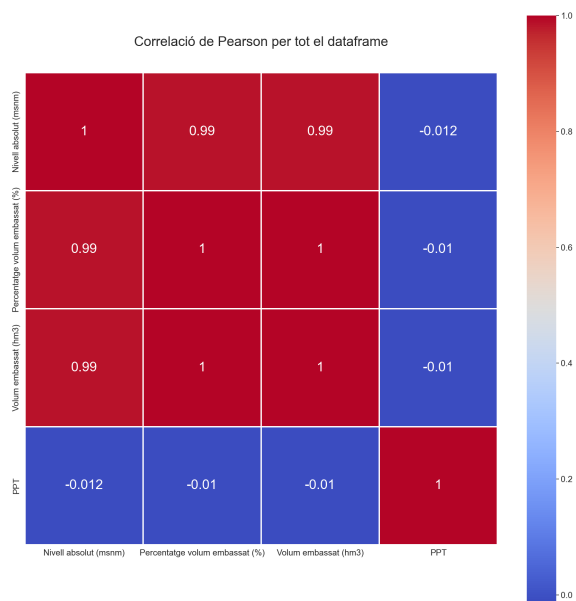
c) **Anàlisi gràfica:** Hem elaborat una sèrie de gràfiques per comprendre la distribució de les dades al llarg de la sèrie històrica. Primer hem fet una gràfica de tota la sèrie històrica del nivell absolut de l'embassament i a sota de la precipitació, per veure si trobem alguna relació entre ambdós.



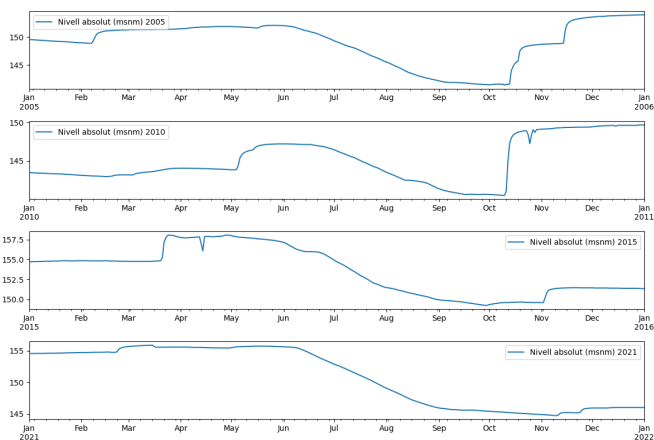
I com que no hem trobat cap hem fet 4 gràfiques amb períodes d'un any al llarg de la serie.



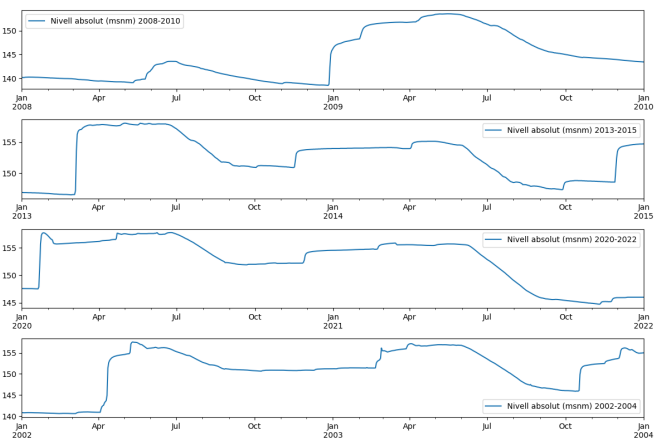
En continuar sense veure gaire relació fem a continuació una gràfica de correlació de Pearson. Veiem que hi ha una correlació negativa molt fluixa entre la precipitació i el nivell de l'embassament.



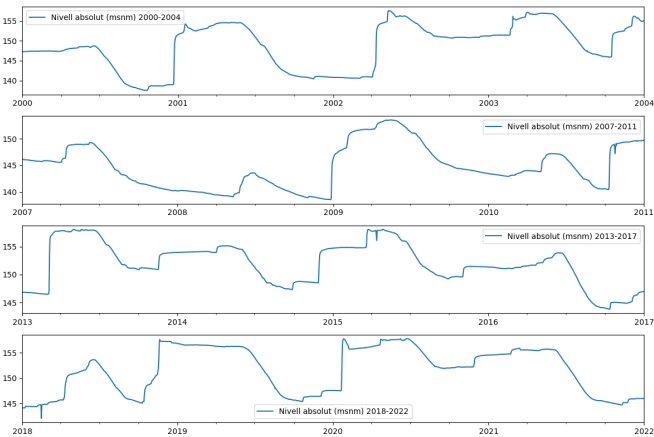
A continuació hem provat de trobar l'estacionalitat del nivell absolut fent gràfiques de diferents períodes d'un any al llarg de la serie històrica.



Com que no hem vist cap estacionalitat en les dades representades, hem graficat un període de dos anys.

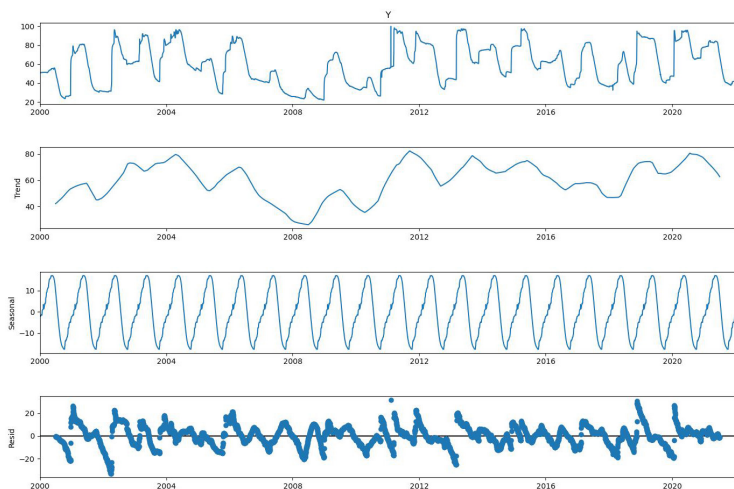


Aquí ja hem pogut percebre una certa estacionalitat, encara que poc marcada, en període d'uns 8 mesos. Finalment hem graficat un període de 4 anys només per confirmar si aquesta estacionalitat que hem vist es repeteix any rere any.



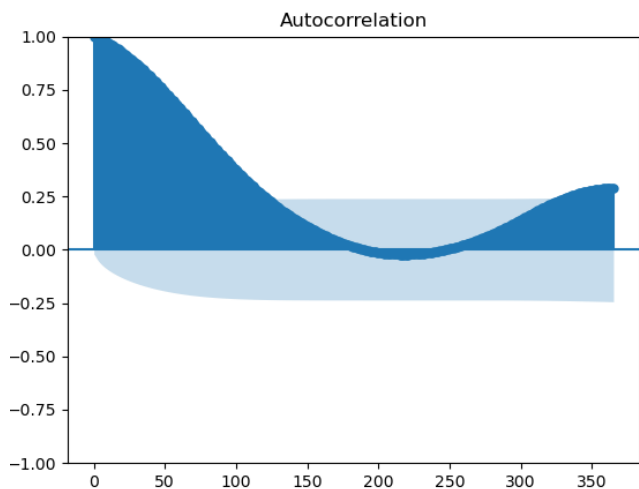
D'aquesta manera hem pogut confirmar que, encara que de manera irregular, hi ha una certa estacionalitat, que es repeteix de manera periodica, en intervals d'uns 8 mesos aproximadament, encara que no de manera molt marcada.

Per fer una analisi més acurada, hem fet una descomposició estacional de tota la serie per veure si la serie té cap tendència o estacionalitat.

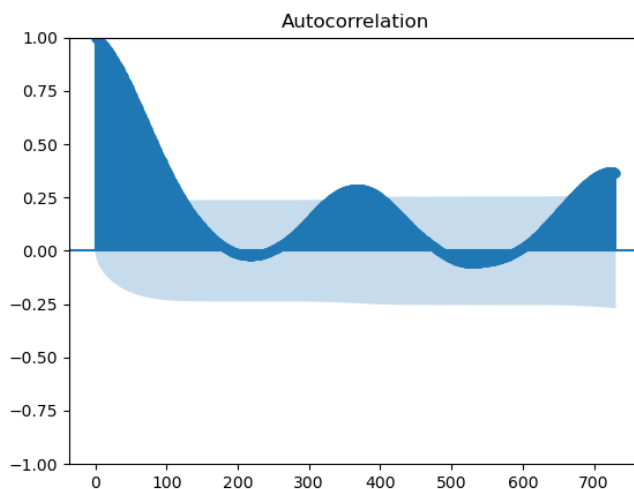


Comprovem que no hi ha cap tendència, encara que si una estacionalitat gairebé anual, com ja havíem vist en les gràfiques anteriors.

Per finalitzar l'analisi hem fet una gràfica d'autocorrelació (ACF) amb un període d'un any, per a veure si hi ha autocorrelació de les dades, i de haver-ne en quins intervals es dona. La ACF és útil precisament per veure l'estacionalitat, les tendències de la serie i altres patrons.



Com que no es veu una estació completa, es a dir un interval de dades autocorrelacionades, dintre d'aquest període de temps, hem fet un altre gràfica amb un període de dos anys per a intentar copsar aquesta estacionalitat.

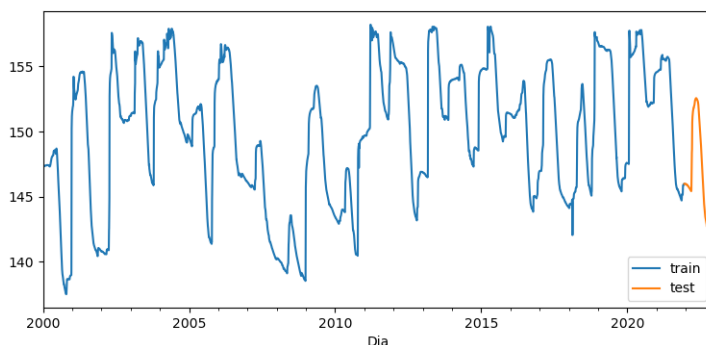


En aquesta ja es veu que la autocorrelació de les dades es dona en cicles de gairebé un any, confirmant el que hem visualitzat en gràfiques previes.

## B. Models

En aquest projecte hem fet servir tres models de regressió: pur i un d'autoregressió de mitjanes mòvils que passem a explicar a continuació.

Primer hem separat tot el dataframe en un conjunt d'entrenament i un altre de test, deixant 365 registres per al de test i la resta per l'entrenament.



A continuació hem provat tres models diferents, que passarem a explicar seguidament, primer sense paràmetres, després amb els millors paràmetres que hem buscat amb el mètode `grid_search` i finalment amb la variable exògena de la precipitació.

Finalment hem provat un model ARIMA trobant els millors paràmetres amb la funció `auto_arma` i entrenant el model amb ells.

*a) Regressius sense paràmetres:*

### **LinearRegression:**

Com que aquest és un model purament de regressió, hem fet servir la funció `ForecasterAutoreg` de la llibreria `skforecast` per a fer-lo servir com a model autoregressiu.

L'hem entrenat amb el conjunt d'entrenament sense cap paràmetre, doncs més endavant buscarem els millors amb el `grid search`, i posteriorment hem fet una predicció d'un any perquè coincideixi amb les dades de test i comparar la predicció envers les dades reals i extreure'n el rendiment.

Hem fet servir com a mètriques el Mean Absolute Error (MAE), Mean Squared Error (MSE) i el Coefficient of determination (R2).

Per acabar hem fet una gràfica per veure com encaixen les prediccions en relació a la realitat.

### **Ridge:**

De la mateixa manera que al model anterior, hem fet servir la funció `ForecasterAutoreg` de la llibreria `skforecast` per a fer-lo servir com a model autoregressiu.

L'hem entrenat amb el conjunt d'entrenament, sense cap paràmetre, i posteriorment hem fet una predicció d'un any perquè coincideixi amb les dades de test i comparar la predicció envers les dades reals i extreure'n el rendiment.

Hem fet servir les mateixes mètriques: Mean Absolute Error (MAE), Mean Squared Error (MSE) i el Coefficient of determination (R2).

Per acabar hem fet una gràfica per veure com encaixen les prediccions en relació a la realitat.

### **PassiveAggressiveRegressor:**

Igual que als models anterior, hem fet servir la funció `ForecasterAutoreg` de la llibreria `skforecast` per a fer-lo servir com a model autoregressiu.

L'hem entrenat amb el conjunt d'entrenament, sense cap paràmetre, i posteriorment hem fet una predicció d'un any perquè coincideixi amb les dades de test i comparar la predicció envers les dades reals i extreure'n el rendiment.

Hem fet servir les mateixes mètriques: Mean Absolute Error (MAE), Mean Squared Error (MSE) i el Coefficient of determination (R2).

Per acabar hem fet una gràfica per veure com encaixen les prediccions en relació a la realitat.

*b) Regressius amb els millors paràmetres:*

**Grid Search:** Hem fet una cerca dels millors paràmetres per a cadascun dels 3 models anteriors, mitjançant el mètode `grid_search_forecaster` de la llibreria `skforecast`. Un cop fet, hem tornat a entrenar els models i a fer les prediccions, aconseguint un lleuger millor resultat en el model `Ridge` i `PassiveAggressiveRegressor`.

*c) Regressius amb els millors paràmetres i variable exògena:*

Hem tornat a entrenar els tres models amb els millors paràmetres i afegint la variable exògena de la precipitació. El resultat ha sigut que les mètriques han restat pràcticament iguals, a excepció del mean absolute error del linear regression que l'ha disminuït lleugerament, mentres que en el cas del model `ridge` l'ha empitjorat. La resta de les mètriques són idèntiques.

*d) ARIMA:*

Per aquest model hem fet servir la funció `auto_arma` de la llibreria `pmdarima` per buscar els millors paràmetres.

amb el resultat que ens ha donat l'hem entrenat amb el conjunt d'entrenament i finalment hem fet una predicció d'un any perquè coincideixi amb les dades de test i comparar la predicció envers les dades reals i extreure'n el rendiment.

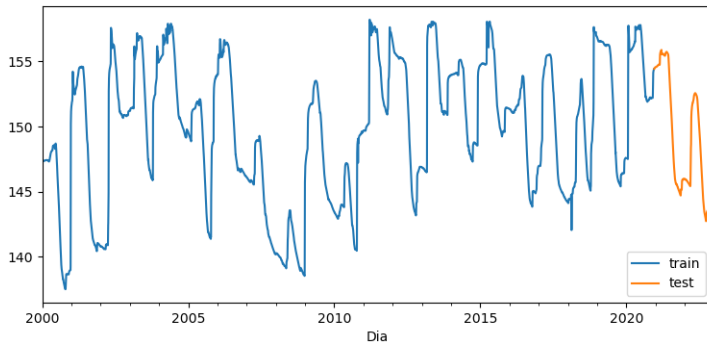
Les mètriques per a aquest model són principalment L'AIC.

Per acabar hem fet una gràfica per veure com encaixen les prediccions en relació a la realitat.

Veiem que la predicció, encara després d'haver escollit els millors paràmetres, no s'ajusta gens a la realitat.

*e) Regressius amb els millors paràmetres i variable exògena. Predicció a dos anys:*

Hem tornat a carregar el dataframe, però aquest cop l'hem separat deixant 730 registres per al conjunt de test, que corresponen a dos anys, i la resta per l'entrenament.



A continuació hem tornat a entrenar els tres models amb els millors paràmetres i la variable exògena de la precipitació. El resultat ha sigut que les mètriques han empitjorat molt respecte a les prediccions a un any, demostrant que els models no son capaços de fer bones prediccions a més llarg termini.

### C. Llibreries

Per a tot aquest projecte hem fet servir les següents llibreries:

pandas 1.4.4  
 matplotlib 3.5.2  
 seaborn 0.11.2  
 numpy 1.21.5  
 scikit-learn 1.0.2  
 skforecast 0.6.0  
 statsmodels 0.13.2  
 pmdarima 2.0.2

## IV. RESULTATS

### A. Taules

A continuació presentem quatre taules amb els resultats de les mètriques obtingudes amb els models que hem desenvolupat:

Predicció a 1 any.

TABLE I  
MODELS SENSE PARÀMETRES

Models	MAE	MSE	R2
Linear Regression	1.620418	5.354497	0.737738
Ridge Regression	1.620418	5.624012	0.724537
Passive Agressive	1.620418	5.035074	0.753383

TABLE II  
MODELS AMB ELS MILLORS PARÀMETRES

Models	MAE	MSE	R2
Linear Regression	1.620418	5.338832	0.738505
Ridge Regression	1.620418	5.586968	0.726351
Passive Agressive	1.482818	4.820144	0.763910

TABLE III  
MODELS AMB ELS MILLORS PARÀMETRES I VARIABLE EXÒGENA

Models	MAE	MSE	R2
Linear Regression	1.615322	5.338832	0.738505
Ridge Regression	1.670257	5.586968	0.726351
Passive Agressive	1.482818	4.820144	0.763910

TABLE IV  
MODEL ARIMA

Model	AIC	BIC	Log Likelihood
1,1,7	23813.449	23882.901	-11896.724

Predicció a 2 anys.

TABLE V  
MODELS AMB ELS MILLORS PARÀMETRES I VARIABLE EXÒGENA

Models	MAE	MSE	R2
Linear Regression	1.615322	5.338832	0.738505
Ridge Regression	1.670257	5.586968	0.726351
Passive Agressive	1.482818	4.820144	0.763910

### B. Gràfiques

Seguidament mostrem les gràfiques dels models que hem desenvolupat amb la predicció en verd superposada a les dades reals:

Predicció a 1 any:

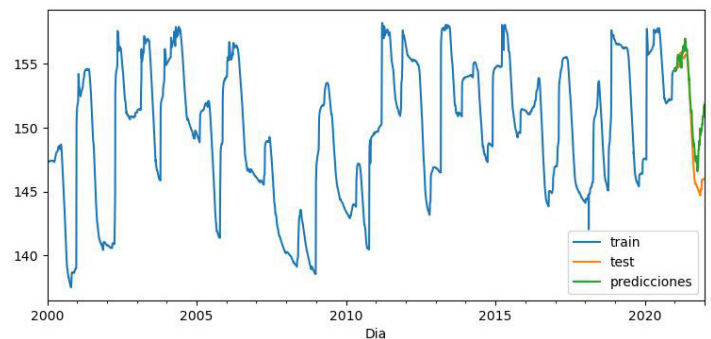


Fig. 1. Linear Regression model.

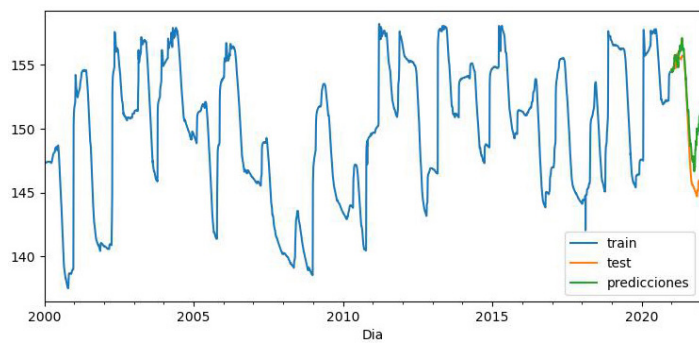


Fig. 2. Ridge model.

Predicció a 2 anys:

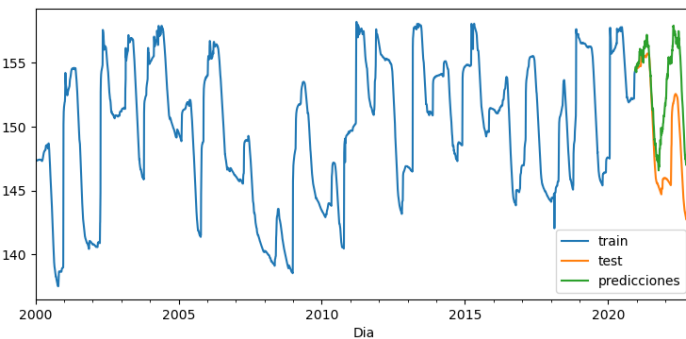


Fig. 5. Linear Regression model.

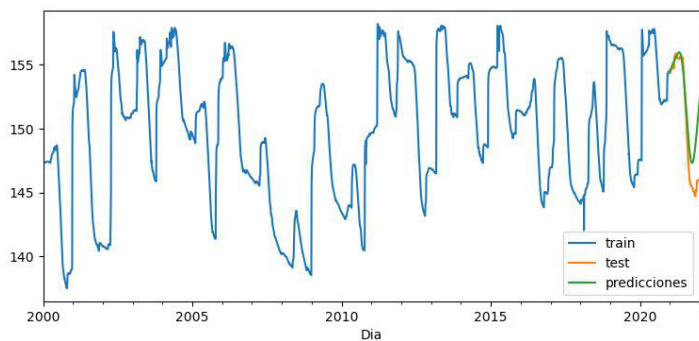


Fig. 3. PassiveAgressiveRegressor model.

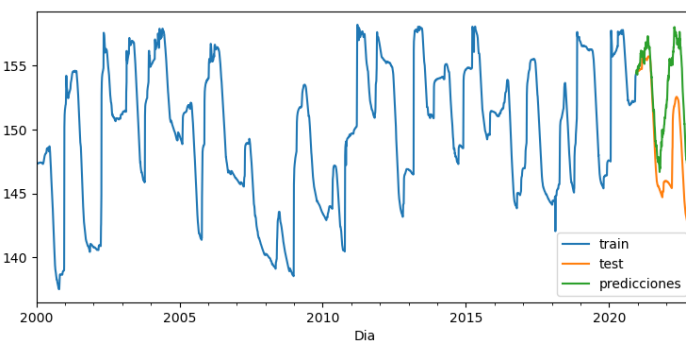


Fig. 6. Ridge model.

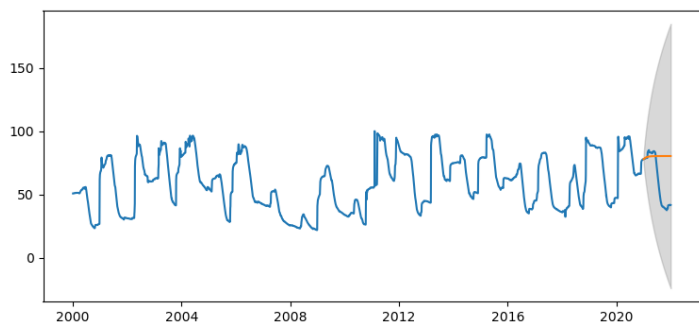


Fig. 4. ARIMA model.

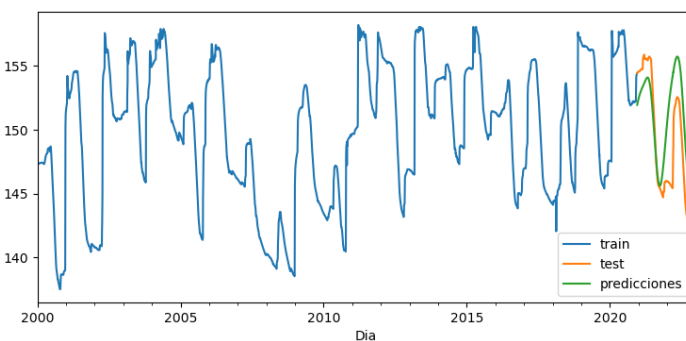


Fig. 7. PassiveAgressiveRegressor model.

## V. CONCLUSIÓ

En acabar aquest projecte podem arribar a varies conclusions. Per començar, clarament el model d'autoregressió ARIMA no ens ha servit de res, doncs no ha pogut predir en absolut l'evolució del nivell de l'embassament, fent gairebé una línia recta. Probablement degut a que aquest model funciona millor amb series temporals amb cicles més regulars i que no contenen tantes variacions com succeeix en la nostra serie.

Per un altra banda, com que no hem aconseguit unes dades de precipitació que estiguin fortament relacionades amb al nivell de l'embassament, ha fet que no poguessim desenvolupar un model regressiu fent servir aquestes dades com a variable exògena, limintant-nos a un model autoregressiu que només es basa en l'evolució de les dades al llarg de la serie temporal. I evidentment, això té unes limitacions molts grans, doncs com que no compten amb dades externes que ens puguin ajudar a predir eventuais sequeres que farien disminuir el nivell de l'aigua, o al contrari, grans episodis de precipitacions que ens pugin sobtadament el nivell de l'embassament, farà que el model no pugui predir aquest possibles events, que es donen de manera irregular en el temps, i depenen bàsicament de la precipitació. Així doncs com a resultat tenim un model molt limitat que difícilment podrà fer bones prediccions a llarg termini, doncs no podrà preveure aquest tipus de circumstàncies extraordinaries.

En definitiva, podem dir que de tot aquest projecte es pot extreure com a conclusió que escollir bé l'origen i el tipus de dades amb les que has de treballar es vital per aconseguir elaborar un model que realment pugui aconseguir fer bones prediccions. Així doncs, si en comptes de recollir les dades de l'estació meteorològica situada al mateix embassament hauria d'haver recollit les dades de precipitació de la capçalera del riu Muga, que es el que desemboca a l'embassament de Darnius - Boadella. Doncs serà la pluja recollida en aquesta capçalera la que finalment acabarà omplint l'embassament, i no la precipitació que cau a sobre del mateix pantà. Una vegada em vaig adonar de la gairebé nula correlació entre la precipitació in situ i el nivell d'aigua de l'embassament vaig buscar estacions meteorològiques al llarg de la capçalera de la Muga, però no n'hi ha cap. De fet l'única estació meteorològica entre la capçalera del riu Muga i l'embassament de Darnius, és la que vaig escollir jo, ubicada al mateix embassament, així doncs no hi ha manera de fer un model predictiu del nivell d'aigua d'aquest embassament fent servir la precipitació com a variable exògena.

Inclús seleccionant un altre embassament de les conques internes tampoc seria possible doncs la majoria dels embassaments es nodreixen de rius que neixen al pirineu, on no hi han gairebé estacions automàtiques, només 7, i cap coincideix amb la capçalera de cap riu.

## REFERENCES

- [1] Agència Catalana de l'Aigua, "Aigua i canvi climàtic"
- [2] Agència Catalana de l'Aigua, "Pla especial d'actuació en situació d'alerta i eventual sequera"