

Eyal Quintillá, Genís Casajoana, Biel Serrat, Biel Casanova

Memòria de l'assignatura

CDIO

10 Octubre de 2025

La present memòria recull el treball desenvolupat a l'assignatura **CDIO I**. Al document s'hi descriuen els objectius, la metodologia emprada, el desenvolupament del projecte i els principals resultats assolits, posant en relleu tant el procés d'aprenentatge com les competències tècniques i de treball en equip adquirides.

1. Objectiu

L'objectiu del projecte és desenvolupar i avaluar models matemàtics que permetin predir l'evolució temporal de la línia de costa a la zona Castelldefels– Gavà– El Prat, utilitzant dades històriques del període 2017–2024 i comparant les prediccions amb les observacions reals de 2025.

Per aconseguir-ho, s'han implementat dos models de regressió lineal millorats amb components estacionals i funcions de transició:

- Model 1: Tendència lineal + funció esglaó (*step*) + components estacionals basats en FFT.
- Model 2: Tendència lineal + funció sigmoide + components estacionals basats en FFT.

L'objectiu final és determinar quin dels dos models representa millor la dinàmica costanera, tant en termes de tendència com de comportament cíclic i precisió predictiva.

2. Metodologia i estructura

2.1. Disseny de l'estructura projecte

El projecte s'ha estructurat en sis etapes automàtiques, executades seqüencialment amb el fitxer principal [run_pipeline.py](#), que enllaça tots els scripts de la carpeta [src/](#).

2.1.1. Etapa 1 – Data Cleaning & Preparation

- Lectura del conjunt de dades 2017–2024.
- Creació d'una taula pivot amb dates com a índex i transectes com a columnes.
- Càlcul del percentatge de valors nuls i eliminació dels transectes amb més del 20% de NaN.
- Agregació de totes les sèries vàlides mitjançant la mitjana.
- Remostreig mensual i interpolació lineal per obtenir una sèrie contínua.
- Exportació a [data/shoreline_monthly.csv](#).

2.1.2. Etapa 2 – Exploratory Data Analysis

- Anàlisi descriptiva de la sèrie temporal mitjana.
- Visualitzacions temporals, boxplots mensuals i anuals.
- Càlcul de tendències (mitjanes mòbils i regressió lineal).
- Anàlisi de freqüència mitjançant FFT per identificar cicles estacionals dominants (~47 i ~24 mesos).

2.1.3. Etapa 3 – Model Fitting

- Ajust del **model base** (tendència + components FFT).
- Implementació dels **models millorats** (step i sigmoide).
- Estimació de paràmetres principals: pendent, amplitud, fase i posició de la transició.
- Càlcul de mètriques d'ajust: **RMSE** i **R²**.
- Emmagatzematge de resultats i gràfics a [outputs/](#).

2.1.4. Etapa 4 – Model Evaluation

- Comparació dels models 1 i 2 amb les sèries originals.
- Anàlisi de residus (distribució, normalitat i magnitud).
- Determinació del model amb menor RMSE i millor ajust general.

2.1.5. Etapa 5 – Forecasting (Gener–Juny 2025)

- Predicció de la línia de costa per al primer semestre del 2025.
- Càlcul d'**interval·ls de confiança al 95%** basats en els residus.
- Visualització de les prediccions amb bandes d'incertesa.
- Exportació de resultats a [outputs/predictions_2025_H1.csv](#).

2.1.6. Etapa 6 – Validation & Discussion

- Comparació de les prediccions amb les observacions reals ([shoreline_distances_castefa_gava_prat_h1_2025_ref2017.csv](#)).
- Càlcul de mètriques: **RMSE**, **MAE** i **PICP** (percentatge d'observacions dins l'interval de confiança).
- Discussió sobre la fiabilitat i coherència física dels models.

3. Resultats

3.1. Resum del procés d'execució

Etapa	Resultat principal	Fitxer generat
<i>Pas 1</i>	53,85% de valors NaN → 307 transectes retinguts	data/shoreline_monthly.csv
<i>Pas 2</i>	Tendència creixent, cicles de 47,5 i 23,8 mesos	outputs/figures/trend_analysis.png
<i>Pas 3</i>	Model 1: RMSE=3,07, $R^2=0,85$ Model 2: RMSE=3,09, $R^2=0,85$	outputs/metrics_model_fitting.txt
<i>Pas 4</i>	El Model 1 presenta el millor ajust (RMSE més baix)	outputs/figures/model_evaluation.png
<i>Pas 5</i>	Predicció gener–juny 2025 amb IC95%	outputs/predictions_2025_H1.csv
<i>Pas 6</i>	RMSE=0,46 (step) vs 1,50 (sigmoid); PICP=100%	outputs/validation_summary.txt

3.1.1. Anàlisi dels resultats

- **Tendència general:** positiva (+0,1313 unitats/mes), indicant una lleugera acumulació o retrocés del mar menys acusat.
- **Cicles estacionals:** períodes dominants de 47,5 i 23,8 mesos, coherents amb patrons meteorològics (temporades de tempestes i regeneració natural).
- **Model 1 (step):** millor ajust i resposta més realista als canvis sobtats de la costa.
- **Model 2 (sigmoid):** tendència més suau, però menor precisió en transicions ràpides.
- **Cobertura dels intervals (PICP):** 100%, demostrant una excel·lent calibració del model.
- **Validació amb dades reals:** totes les observacions del 2025 queden dins l'interval de confiança del 95%, amb RMSE molt baix (0,46 m).

4. Conclusions

L'anàlisi complet de la línia de costa entre 2017 i 2025 mostra una tendència global clarament positiva, és a dir, un augment progressiu de la distància mitjana respecte al punt de referència.

Aquesta evolució indica una recuperació o acumulació de sediments, especialment accentuada entre 2019 i 2021, seguida d'un període d'estabilització entre 2022 i 2024.

Els boxplots anuals revelen que la variabilitat interanual també augmenta amb el temps: les medians s'eleva progressivament i els valors extrems esdevenen més freqüents, suggerint que la dinàmica litoral és cada cop més activa i sensible a condicions meteorològiques variables.

L'anàlisi de freqüències (FFT) identifica dos cicles principals d'oscil·lació (~47 i ~24 mesos), corresponents aproximadament a patrons bianuals i quadriennals. Aquest resultat és coherent amb els processos estacionals de tempesta i regeneració natural, així com amb les actuacions periòdiques de manteniment de platges.

En la fase de modelització, els dos models proposats han mostrat un bon ajust general ($R^2 \approx 0.85$), però amb diferències clares:

- El Model 1 (Step), que incorpora una transició abrupta, captura millor els canvis sobtats observats entre 2019 i 2021.
Els residus del model es distribueixen de manera aleatòria al voltant de zero, sense biaixos sistemàtics, i amb una amplitud moderada.
- El Model 2 (Sigmoid) presenta un ajust més suau, però els residus mostren majors desviacions puntuals i una lleu tendència a la subestimació durant períodes de creixement ràpid.

La comparació de models confirma que el Model 1 ofereix un millor equilibri entre precisió i realisme físic, reproduint amb més fidelitat la resposta a episodis extrems (temporades de tempesta o aportacions sedimentàries).

Pel que fa a la predicció del primer semestre de 2025, ambdós models proporcionen resultats físicament coherents, però el Model 1 genera bandes de confiança més estretes i un error significativament inferior (RMSE = 0,46 m vs 1,50 m per al Model 2).

A més, la validació amb dades reals mostra que el 100 % de les observacions es troben dins dels intervals de confiança del 95 %, la qual cosa demostra una excel·lent calibració estadística.

Finalment, la combinació de tendència lineal i components estacionals basats en FFT s'ha mostrat una eina molt potent per analitzar i predir processos costaners complexos.

El Model 1 (Step) no només ofereix una millor precisió quantitativa, sinó que també reflecteix de manera més versemblant els canvis reals de la línia de costa, fent-lo ideal per aplicacions de monitoratge i gestió del litoral.