

**Joan Garcia Blas**

**ANÀLISI I PREDICCIÓ DE RESULTATS DE FUTBOL AMB INTEL·LIGÈNCIA  
ARTIFICIAL: UNA APLICACIÓ PRÀCTICA DELS TEMPORAL FUSION  
TRANSFORMERS**

**TREBALL DE FI DE GRAU**

**Dirigit per Jordi Massaguer Pla**

**Grau d'Enginyeria Informàtica**



**UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI**

**Tarragona**

**2025**

**Resum.**

Aquest projecte explora l'ús avançat de la intel·ligència artificial per predir resultats de futbol en un entorn d'alt impacte econòmic, com les apostes esportives. Es desenvolupa un sistema complet que implementa el model Temporal Fusion Transformer (TFT), capaç de generar prediccions multivariants (gols, córners, targetes, etc.) amb alta precisió i interpretabilitat. Aquest model és integrat en una arquitectura de programari moderna amb backend en FastAPI i PostgreSQL, i una interfície web accessible desenvolupada amb React. A més de permetre prediccions puntuals i per jornada, la plataforma ofereix un històric consultable per avaluar el rendiment del model.

L'avaluació retrospectiva sobre les 10 últimes jornades d'una temporada (100 partits) mostra una exactitud del 50% en la predicció 1X2. L'anàlisi d'errors revela una infraestimació de gols, xuts i córners, i una sobreestimació de targetes grogues en el tram analitzat. Aquestes troballes, junt amb els temps de resposta baixos i la coherència entre prediccions i resultats reals, confirmen la viabilitat del sistema i el compliment dels requisits funcionals.

Com a línies de futur, es proposen millores de calibratge i d'enginyeria, la incorporació de context (lesions, àrbitre, meteorologia), el suport en temps real i l'expansió a altres competicions i esports, amb especial atenció al marc legal i ètic si s'afegeixen comptes d'usuari o integració informativa de quotes.

**Resumen.**

Este proyecto explora el uso avanzado de la inteligencia artificial para predecir resultados de fútbol en un entorno de alto impacto económico, como las apuestas deportivas. Se desarrolla un sistema completo que implementa el modelo Temporal Fusion Transformer (TFT), capaz de generar predicciones multivariantes (goles, córners, tarjetas, etc.) con alta precisión e interpretabilidad. Este modelo se integra en una arquitectura de software moderna con backend en FastAPI y PostgreSQL, y una interfaz web accesible desarrollada con React. Además de permitir predicciones puntuales y por jornada, la plataforma ofrece un histórico consultable para evaluar el rendimiento del modelo.

La evaluación retrospectiva sobre las 10 últimas jornadas de una temporada (100 partidos) muestra una exactitud del 50% en la predicción 1X2. El análisis de errores revela una infraestimación de goles, tiros y córners, y una sobreestimación de tarjetas amarillas en el tramo analizado. Estos hallazgos, junto con tiempos de respuesta bajos y la coherencia entre predicciones y resultados reales, confirman la viabilidad del sistema y el cumplimiento de los requisitos funcionales.

Como líneas futuras, se proponen mejoras de calibración e ingeniería, la incorporación de contexto (lesiones, árbitro, meteorología), el soporte en tiempo real y la expansión a otras competiciones y deportes, con especial atención al marco legal y ético si se añaden cuentas de usuario o integración informativa de cuotas.

**Abstract.**

This project explores the advanced use of artificial intelligence to predict football outcomes in a high-economic-impact setting such as sports betting. It develops a complete system implementing the Temporal Fusion Transformer (TFT), capable of producing

multivariate predictions (goals, corners, cards, etc.) with high accuracy and interpretability. The model is integrated into a modern software architecture with a FastAPI and PostgreSQL backend and an accessible web interface built with React. Beyond single-match and matchday forecasts, the platform offers a queryable history to assess model performance.

A retrospective evaluation on the last 10 matchdays of a season (100 matches) shows 50% accuracy on 1X2 predictions. Error analysis reveals underestimation of goals, shots and corners, and overestimation of yellow cards in the analyzed period. These findings, together with low response times and consistency between predictions and actual results, confirm the system's viability and compliance with the functional requirements.

Future work includes calibration and engineering improvements, the incorporation of context (injuries, referee, weather), real-time support, and expansion to other competitions and sports, with special attention to the legal and ethical framework if user accounts or informational odds integration are added.

**Índex**

1. Introducció .....	5
1.1. Context i motivació .....	5
1.2. Antecedents en la predicció de resultats de futbol .....	6
1.3. Objectiu del projecte .....	7
1.4. Descripció general del projecte .....	7
1.5. Objectius específics.....	8
1.6. Objectius formatius .....	9
2. Temporal Fusion Transformers: Fonaments, arquitectura i aplicacions .....	10
2.1. Introducció i Context .....	10
2.2. El Temporal Fusion Transformer (TFT) .....	11
2.3. Comparació amb altres models seqüencials.....	12
2.4. Consideracions pràctiques i entrenament.....	13
2.5. Aplicacions.....	13
3. Requisits .....	15
3.1 Requisits funcionals .....	15
3.2 Requisits no funcionals .....	16
3.3 Actors i casos d'ús.....	16
4. Anàlisi dels requisits funcionals .....	19
4.1 Diagrama de classes .....	19
4.2 Diagrames de seqüència.....	22
4.2.1 UC1 — Predicció puntual d'un partit.....	22
4.2.2 UC2 — Predicció per jornada.....	23
4.2.3 UC3 — Consulta de l'històric de prediccions .....	24
4.2.4 UC4 — Actualització de resultats reals .....	25
4.3 Discussió .....	26
5. Disseny .....	27
5.1 Arquitectura.....	28
5.2 Disseny de la interfície gràfica.....	29
5.3 Disseny de les bases de dades .....	30
6. Implementació .....	31
6.1 Stack i dependències .....	31
6.2 Algorisme de predicció (TFT).....	32
6.3 Backend i API .....	32
6.4 Frontend .....	33

6.4.1 Nova predicció individual.....	34
6.4.2 Jornades .....	35
6.4.3 “Històric” .....	36
6.4.4 Restriccions i decisions clau.....	37
7. Avaluació .....	38
7.1 Disseny dels casos de prova.....	38
7.2 Protocol d’avaluació retrospectiva sobre lliga .....	38
7.3 Execució i resultats quantitius.....	38
7.4 Discussió i aprenentatges .....	39
8. Costos, marc legal i implicacions ètiques.....	40
8.1 Avaluació de costos .....	40
8.2 Legislació i protecció de dades .....	40
8.3 Implicacions ètiques, d’igualtat i mediambientals.....	41
9. Futures aplicacions i millores .....	42
9.1 Evolució funcional del producte .....	42
9.2 Cobertura esportiva .....	42
9.3 Integració de context, quotes i decisió informada.....	42
9.4 Model de negoci, plans i llicències .....	42
9.5 Marc legal, privacitat i ètica en la nova fase.....	43
10. Conclusions.....	44
11. Referències.....	46
12. Annexos .....	48
12.1 Requeriments i requisits.....	48
12.2 Variables d’entorn .....	48
12.3 Instal·lació i arrancada en local .....	48
12.4 Funcionament API.....	49
12.5 Diccionari dels 20 d’equips de LaLiga .....	50
12.6 Link a la pàgina web .....	51

## Índex de taules

Taula 1. Diferències entre el TFT i altres mètodes semblants .....	13
--	----

## Índex de figures

<b>Figura 1.</b> Esquema general de l'arquitectura del Temporal Fusion Transformer (TFT).....	12
<b>Figura 2.</b> Diagrama de casos d'ús (actors i RF).....	18
<b>Figura 3.</b> Diagrama de classes de les bases de dades.....	21
<b>Figura 4.</b> Diagrama de classes del sistema Predictor Web.....	22
<b>Figura 5.</b> Diagrama de seqüència UC1 (predicció puntual).....	23
<b>Figura 6.</b> Diagrama de seqüència UC2 (predicció per jornada).....	24
<b>Figura 7.</b> Diagrama de seqüència UC3 (consulta de l'històric).....	25
<b>Figura 8.</b> Diagrama de seqüència UC4 (actualització de resultats).....	25
<b>Figura 9.</b> Arquitectura del projecte.....	29
<b>Figura 10.</b> Pàgina inicial de la web.....	33
<b>Figura 11.</b> Formulari de nova (estat inicial, data per defecte avui).....	34
<b>Figura 12.</b> Resultat d'una predicció.....	34
<b>Figura 13.</b> Selector de jornada.....	35
<b>Figura 14.</b> Detall desplegat: comparativa Predicció – Real.....	35
<b>Figura 15.</b> Resum d'encerts en general i vista general.....	36
<b>Figura 16.</b> Detall d'un partit de l'històric (Pred → Real).....	36
<b>Figura 17.</b> Històric amb filtre per equip.....	37

## 1. Introducció

### 1.1. Context i motivació

El futbol és, de llarg, l'esport amb una base social i econòmica més gran a escala global. Informes recents de la mateixa FIFA<sup>1</sup> situen el nombre de seguidors del futbol al voltant dels cinc mil milions de persones, cosa que es tradueix en audiències massives i en una indústria que genera un gran impacte econòmic. Aquest impacte es manifesta a través de múltiples canals, incloent-hi els drets de retransmissió, els patrocinis corporatius, la venda de mercaderies i, de manera cada vegada més significativa, el mercat de les apostes esportives. Les principals lligues europees, com la Premier League anglesa o LaLiga espanyola, són motors econòmics que generen milers de milions d'euros anualment i atrauen inversions globals. Aquesta enorme popularitat ha creat un ecosistema complex on les decisions, tant esportives com de negoci, tenen repercussions financeres substancials. Per tant, la capacitat d'analitzar i predir el desenvolupament dels partits no només satisfà la curiositat dels aficionats, sinó que també representa una eina de gran valor per a una àmplia gamma de professionals del sector, des d'entrenadors i analistes de clubs fins a mitjans de comunicació i operadors de joc [1].

Dins d'aquest ecosistema econòmic, el sector de les apostes esportives ha experimentat una expansió exponencial, especialment amb l'adveniment de les plataformes en línia. Les apostes han passat de ser una activitat marginal a convertir-se en un component central de l'experiència del futbol per a molts aficionats, generant un volum de negoci astronòmic. Segons l'European Gaming & Betting Association [2], els ingressos del joc en línia a Europa van assolir els 38,2 mil milions d'euros el 2022, dels quals 13,6 mil milions corresponien a apostes esportives; més recentment, el mercat europeu total (en línia + presencial) va registrar 123,4 mil milions d'euros de GGR<sup>2</sup> el 2024. Aquests fluxos mobilitzen patrocini, publicitat i acords de difusió que retro alimenten l'ecosistema futbolístic.

La complexitat inherent al futbol fa que la predicció dels seus resultats sigui un repte formidable. Un partit pot ser influenciat per una multitud de variables interrelacionades, incloent-hi l'estat de forma dels jugadors, les estratègies tàctiques dels entrenadors, l'avantatge de jugar a casa, la pressió dels aficionats i fins i tot la meteorologia. Aquesta complexitat, combinada amb la naturalesa inherentment aleatòria d'esdeveniments puntuals dins del partit (com un penal o una targeta vermella), fa que els models predictius simples sovint resultin insuficients. Mentre que els aficionats i analistes tenen accés a una gran quantitat de dades estadístiques, la interpretació d'aquestes dades per extreure patrons predictius rellevants requereix eines analítiques avançades. Hi ha una clara necessitat de models que no només puguin generar prediccions precises, sinó que també puguin explicar els factors que han conduït a aquestes prediccions. Aquest projecte neix de la convicció que la intel·ligència artificial, i concretament els models de *deep learning* seqüencials, poden

---

<sup>1</sup> FIFA: *Fédération Internationale de Football Association* (Federació Internacional de Futbol Associació).

<sup>2</sup> GGR: *Gross Gaming (o Gambling) Revenue*; ingressos bruts del joc; total apostat menys premis pagats.

omplir aquesta bretxa, oferint una eina que sigui a la vegada potent i accessible per a una audiència àmplia.

## 1.2. Antecedents en la predicció de resultats de futbol

La literatura científica sobre predicció en futbol és àmplia en quant a metodologia i mètriques de validació. Els primers mètodes de predicció dels resultats dels partits de futbol es van basar en models de Poisson, com el clàssic de Dixon i Coles (1997)[3]. Aquests models assumeixen que el nombre de gols que marca un equip en un partit es pot modelar mitjançant una distribució de Poisson, amb una mitjana que depèn de la seva força ofensiva, de la força defensiva del rival i del factor camp. D'aquesta manera, els gols de cada equip es consideren inicialment independents i es pot calcular la probabilitat de qualsevol marcador concret combinant les distribucions de cada conjunt. Tot i la seva simplicitat i eficàcia inicial, amb el temps s'han desenvolupat extensions per superar-ne algunes limitacions. El mateix treball de Dixon i Coles (1997)[3] ja va introduir un model de doble Poisson amb correccions per a marcadors baixos i un descompte temporal per donar més pes als partits recents, mostrant millores de log-versemblança davant de models independents. A més, aquest mètode permetia comparar les probabilitats de resultat estimades pel model amb les probabilitats implícites en les apostes esportives, i així identificar si hi havia diferències que podien suggerir una aposta amb més valor del que reflectia el mercat.

Posteriorment, es van desenvolupar enfocaments més sofisticats dins el marc Poisson. En contextos bayesians, Baio i Blangiardo (2010)[4] van proposar un model Poisson jeràrquic, on els paràmetres (per exemple la força ofensiva i defensiva de cada equip) no són fixos sinó que es modelen com a variables aleatòries, i són estimats amb cadenes de Markov que va millorar el calibratge i el *Brier score* respecte d'alternatives més tradicionals. Per capturar la correlació entre gols locals i visitants, Karlis i Ntzoufras (2003, 2009)[5] van desenvolupar models Poisson bivariants i basats en la distribució Skellam, que van obtenir un millor ajust en lligues amb alta dependència entre els marcadors. De manera més recent, Michels, Ötting i Karlis (2008)[6] han ampliat el model de Dixon–Coles utilitzant la família de distribucions bivariants de Sarmanov, que permeten introduir dependència flexible entre els gols locals i visitants. Aquest enfocament aconsegueix un millor ajust i predicció, incloent aplicacions al futbol femení.

Més enllà del marc Poisson, també s'han proposat altres metodologies. Hvattum i Arntzen (2010)[7] van integrar el sistema Elo en una regressió logística ordinal per predir el resultat 1X2, obtenint precisions al voltant del 62–63%, i treballs posteriors han comparat rànquings basats en equips i en jugadors. Amb l'expansió de l'aprenentatge automàtic, estudis com els de Capobianco et al. (2019)[8] i Ren i Susnjak (2022)[9] han aplicat classificadors avaluats amb mètriques com l'*accuracy*, el *log-loss* i el retorn d'inversió simulat (Kelly), mostrant una competitivitat notable respecte als enfocaments estadístics tradicionals, especialment en estratègies que filtren partits segons la seva dificultat predictiva. Finalment, els models d'*expected goals* (xG<sup>3</sup>) (Mead, 2023[10]; Bandara, 2024[11]) han emergit com una eina rellevant per captar la qualitat de les ocasions de gol. Aquests models milloren el *Brier score* i el *log-loss*, i la incorporació d'informació

---

<sup>3</sup> xG: *expected goals* (gols esperats); estimació de la probabilitat que un xut acabi en gol.

contextual, com la sèrie d'esdeveniments que passen just abans d'un xut, incrementa encara més la seva capacitat predictiva.

Pel que fa als *Transformers* en futbol, hi ha aplicacions en predicció d'esdeveniments, trajectòries o probabilitat en directe, però no s'observen publicacions revisades per parells que apliquin específicament el *Temporal Fusion Transformer* (TFT<sup>4</sup>) a la predicció de resultats de partit (1X2<sup>5</sup>). Sí que existeixen, és clar, usos de *Transformers* en tasques futbolístiques (p. ex., Seq2Event, FootBots) i nombroses aplicacions del TFT en altres dominis (energia, indústria, finances) (Lim, 2021)[12].

### 1.3. Objectiu del projecte

L'objectiu general d'aquest Treball de Fi de Grau és desenvolupar i implementar un sistema complet de predicció dels resultats de partits de futbol mitjançant l'aplicació pràctica d'un model de *deep learning* avançat, el TFT. Aquest sistema ha de ser capaç de generar prediccions precises i interpretables sobre diverses mètriques clau d'un partit (com ara gols, córners, etc.) i posar-les a l'abast dels usuaris a través d'una aplicació web intuïtiva i fàcil de fer servir. Aquest enfocament busca crear una eina de valor per a diferents perfils d'usuaris, des d'aficionats que busquen informació addicional per gaudir del partit, fins a analistes i professionals del sector que necessiten dades fiables per donar suport a la seva presa de decisions.

### 1.4. Descripció general del projecte

El nucli d'aquest projecte és la creació d'un model predictiu basat en l'arquitectura *Temporal Fusion Transformer*. Aquest model ha estat entrenat amb dades històriques detallades de partits de futbol per aprendre els patrons i relacions complexes que determinen el seu desenvolupament. L'objectiu és que el model sigui capaç de generar prediccions multivariades, és a dir, estimar simultàniament diverses mètriques de rendiment, anant més enllà del simple resultat final (1X2). Aquestes mètriques inclouen el nombre de gols per equip, el nombre de xuts a porta, el nombre de córners, i el nombre de targetes grogues.

Per tal de maximitzar l'impacte i la utilitat del model desenvolupat, es complementa amb una aplicació web interactiva. Aquesta aplicació servirà com a plataforma principal perquè els usuaris puguin accedir a les prediccions de manera senzilla i intuïtiva. La interfície d'usuari està dissenyada per presentar la informació de manera clara. L'aplicació permetrà als usuaris consultar prediccions per a partits futurs, revisar l'historial de prediccions passades i la seva precisió. Aquesta part del projecte és essencial per traduir la complexitat del model de *deep learning* en una eina pràctica i accessible per a un públic no tècnic, complint així l'objectiu de promoure l'accés a l'anàlisi predictiva avançada del futbol.

---

<sup>4</sup> TFT: *Temporal Fusion Transformer*; model de sèries temporals interpretables utilitzat per a la predicció.

<sup>5</sup> 1X2: codificació del resultat del partit (1 = local, X = empat, 2 = visitant).

## 1.5. Objectius específics

Per aconseguir l'objectiu general, s'han definit una sèrie d'objectius específics que cobreixen totes les etapes del desenvolupament del projecte, des de la recopilació de dades fins al desplegament final de l'aplicació:

### 1. Consolidar una base de dades fiable

- Identificar, recollir i harmonitzar dades històriques de partits (resultats, mètriques de rendiment, gols, córners, targetes) procedents de fonts diferents.
- Dissenyar l'esquema i la implementació d'una base de dades que serà el fonament sobre el qual s'entrenarà i avaluarà el model TFT, i la seva qualitat serà determinant per al seu rendiment final.

### 2. Dissenyar i implementar el model TFT per a la predicció multivariable

- Definir les variables estàtiques i temporals, configurar els paràmetres del model, com el *lookback* i l'horitzó de predicció.
- Implementar el codi del model utilitzant un *framework* de *deep learning* com *PyTorch* (PyTorch 2024) [13].

### 3. Entrenar, validar i optimitzar el model

- Entrenar i validar el model, aplicant bones pràctiques (regularització, *early stopping*, validació per temporada).
- Avaluar amb mètriques adequades (*pinball loss*/MAE<sup>6</sup> en gols; *log-loss*/Brier en 1X2 després del post procés), així com analitzar el calibratge.

### 4. Desenvolupar un *backend* amb API<sup>7</sup>

- Implementar una API que permeti prediccions unitàries i per jornada, la gestió d'històrics i l'actualització de resultats reals.
- Emmagatzemar tant les prediccions com les estadístiques (gols, xuts, córners, targetes).

### 5. Desenvolupar la interfície web i l'experiència d'usuari

- Dissenyar el *frontend* per mostrar prediccions, probabilitats i indicadors interpretables, amb navegació per rondes i detalls per partit.
- Dissenyar una interfície que sigui clara i intuïtiva.

### 6. Realitzar el desplegament i l'accessibilitat

- Adaptar el *backend* per a producció i desplegar l'aplicació a Google Cloud.
- Crear un contenidor (Docker) del *backend* i desplegar-lo utilitzant serveis com Cloud Run, i allotjant la base de dades en CloudSQL.

---

<sup>6</sup> MAE: *Mean Absolute Error* (error absolut mitjà).

<sup>7</sup> API: *Application Programming Interface* (interfície de programació d'aplicacions); conjunt de regles, formats i punts d'accés (endpoints) per comunicar serveis.

## 1.6. Objectius formatius

Aquest treball de fi de grau no només té una finalitat pràctica, sinó que també persegueix una sèrie d'objectius formatius que m'han permès consolidar, ampliar i posar en pràctica els coneixements adquirits durant la carrera.

### 1. Adquirir coneixements en models de deep learning

- Aprofundir en la comprensió teòrica i pràctica dels models de *deep learning* per a sèries temporals, amb un focus específic en l'arquitectura del *Temporal Fusion Transformer*, incloent els seus mecanismes d'atenció, selecció de variables i regressió de quantils.

### 2. Millorar i desenvolupar habilitats en Machine learning i enginyeria de dades

- Adquirir experiència pràctica en totes les etapes d'un projecte de *Machine learning*: adquisició de dades, neteja i preprocessament, enginyeria de variables, entrenament de models, avaluació i optimització.

### 3. Aprofundir en el desenvolupament full-stack d'aplicacions web

- Desenvolupar competències en el disseny i implementació d'aplicacions web modernes, cobrint tant el *backend* (amb FastAPI i SQLAlchemy) com el frontend (amb React i Tailwind CSS), i el seu desplegament

## 2. Temporal Fusion Transformers: Fonaments, arquitectura i aplicacions

### 2.1. Introducció i Context

La predicció de sèries temporals multivariants és un dels reptes més importants i complexos dins l'àmbit de l'anàlisi de dades i l'aprenentatge automàtic. En aquest context, quan es parla de seqüències es fa referència a conjunts de valors ordenats cronològicament, com ara registres horaris del consum elèctric, sèries diàries de temperatura, o l'evolució mensual del preu d'un producte. Aquestes seqüències poden involucrar una única variable (sèrie univariant) o múltiples variables correlacionades que evolucionen simultàniament (sèrie multivariant).

Un dels principals reptes en aquest tipus de problemes és capturar les dependències temporals a curt i llarg termini: patrons recents i volàtils, tendències estacionals o cicles de major durada (Bengio, 1994)[14]. Això és especialment rellevant en problemes multi-horitzó, on es volen obtenir prediccions per a diversos passos de temps futurs alhora (per exemple, la demanda horària d'energia per als pròxims set dies). Els models seqüencials tradicionals, com les xarxes neuronals recurrents (RNN<sup>8</sup>) o les seves variants més sofisticades (LSTM<sup>9</sup> i GRU<sup>10</sup>) (Hochreiter & Schmidhuber, 1997)[15], han estat àmpliament utilitzats per abordar aquest tipus de tasques. No obstant això, el seu processament estrictament seqüencial, on cada pas depèn del càlcul del pas anterior, limita la seva eficiència i la seva capacitat per capturar dependències molt llargues.

Aquestes limitacions van impulsar la cerca de nous enfocaments, i l'any 2017 es va introduir l'arquitectura *Transformer* amb el treball seminal *Attention Is All You Need* (Vaswani et al., 2017) [16]. A diferència de les RNN, els *Transformers* utilitzen mecanismes d'auto atenció que permeten processar tota la seqüència en paral·lel i establir relacions directes entre qualsevol parell de punts temporals, independentment de la seva distància. Això va suposar un canvi de paradigma i va obrir la porta a la seva aplicació en àmbits més enllà del processament del llenguatge natural, inclosa la predicció de sèries temporals (Lim, 2019).[12]

Tanmateix, les dades temporals presenten característiques pròpies: solen ser multivariants, contenen tant variables històriques com futures conegudes (p. ex. dates de festius) i sovint hi ha informació estàtica associada (com la ubicació d'una botiga). A més, moltes aplicacions requereixen prediccions per a diversos passos futurs (predicció multi-horitzó) i demanen un cert grau d'interpretabilitat per entendre quines variables i quins moments han estat determinants per a la predicció.

---

<sup>8</sup> RNN: *Recurrent Neural Network*; xarxa neuronal recurrent; processa dades seqüencials mantenint un estat ocult que es retroalimenta.

<sup>9</sup> LSTM: *Long Short-Term Memory*; variant de RNN amb portes (entrada, oblit, sortida) i estat de cel·la que permet capturar dependències llargues i mitigar el gradient evanescent.

<sup>10</sup> GRU: *Gated Recurrent Unit*; variant de RNN amb portes d'actualització i de reinici; similar a LSTM però més lleugera (sense estat de cel·la separat).

## 2.2. El Temporal Fusion Transformer (TFT)

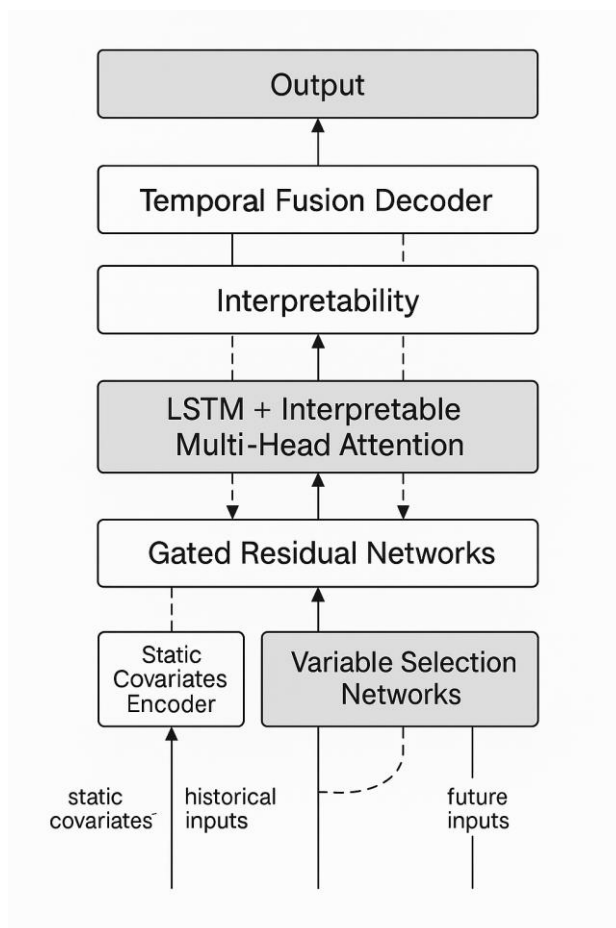
Per donar resposta a aquestes necessitats, Lim (2021)[12] van proposar el TFT, una arquitectura híbrida que combina el millor de dues grans famílies de models: les xarxes recurrents i les arquitectures basades en atenció. Concretament, el TFT utilitza capes LSTM (*Long Short-Term Memory*), un tipus especial de xarxa neuronal recurrent dissenyada per capturar dependències temporals a curt termini, juntament amb mecanismes d'auto atenció derivats dels *Transformers*, que són molt eficaços per capturar relacions a llarg termini.

A més, el TFT s'ha desenvolupat específicament per a la predicció multi-horitzó de sèries temporals, és a dir, la predicció simultània de múltiples passos de temps futurs a partir d'un conjunt d'entrades passades, presents i futures conegudes. Aquesta característica és clau en aplicacions reals com la predicció meteorològica, la previsió de la demanda d'energia, la predicció de vendes o la planificació de la producció industrial, on no n'hi ha prou amb conèixer el valor en el següent pas temporal, sinó que cal anticipar el comportament del sistema en tot un horitzó temporal.

Una de les grans innovacions del TFT és la seva arquitectura modular, que integra components com:

- **Xarxes de selecció de variables:** que identifiquen i ponderen les variables més rellevants per a cada pas temporal, millorant la interpretabilitat.
- **Codificador de covariants estàtics:** que integra informació no temporal (com ubicació, tipus de producte o característiques fixes del sistema) per condicionar les prediccions.
- **Mecanismes de porta (*Gating*):** que permeten al model controlar el flux d'informació i evitar sobre ajustos.
- **Atenció multi-capçal interpretable:** que proporciona transparència i permet entendre quins punts de la seqüència històrica són més determinants per a cada predicció.

El resultat és un model capaç de capturar patrons locals i globals de les sèries temporals, gestionar dades heterogènies i generar prediccions probabilístiques a través de regressió quantílica (Koenker & Bassett, 1978)[17], oferint intervals de confiança que són especialment útils per a la presa de decisions sota incertesa.



**Figura 1.** Esquema general de l'arquitectura del Temporal Fusion Transformer (TFT).

Una altra característica destacada del TFT és la seva capacitat per generar prediccions probabilístiques. En lloc de donar només un valor puntual, el model pot predir diversos quantils (per exemple, el 10è, 50è i 90è percentil) mitjançant regressió quantílica i una funció de pèrdua anomenada *pinball loss*. Això permet construir intervals de confiança i quantificar la incertesa associada a les prediccions, cosa especialment útil en contextos com la planificació de la demanda o la gestió de riscos.

### 2.3. Comparació amb altres models seqüencials

Les innovacions del TFT responen a limitacions dels models seqüencials tradicionals. Les xarxes LSTM i GRU, tot i ser efectives per capturar dependències temporals, pateixen d'ineficiència computacional perquè han de processar cada pas en sèrie i poden tenir dificultats per aprendre relacions molt llargues. Els *Transformers* convencionals, per contra, són excel·lents captant dependències globals, però no sempre gestionen bé la informació heterogènia de les sèries temporals ni ofereixen interpretabilitat directa. El TFT combina el millor d'aquests dos mons: manté la capacitat de captar patrons locals via LSTM i, alhora, aprofita l'atenció per establir connexions a llarg termini, tot integrant mecanismes per entendre i explicar les prediccions.

La Taula 1 resumeix les diferències més rellevants entre el TFT i altres enfocaments habituals.

CARACTERÍSTICA	TFT	LSTM/GRU	TRANSFORMER CONVENCIONAL
PROCESSAMENT SEQÜENCIAL	No (paral·lel)	Sí	No (paral·lel)
CAPTURA DEPENDÈNCIES LLARGUES	Excel·lent (atenció)	Bona però limitada	Excel·lent (atenció)
SELECCIÓ DE VARIABLES	Sí (VSN <sup>11</sup> integrat)	No	No
GESTIÓ DE COVARIANTS ESTÀTICS	Sí (codificador dedicat)	Limitada	Limitada
SORTIDA PROBABILÍSTICA	Sí (regressió quantílica)	Opcional	Opcional
INTERPRETABILITAT	Alta (VSN + atenció)	Baixa	Baixa

Taula 1. Diferències entre el TFT i altres mètodes semblants.

## 2.4. Consideracions pràctiques i entrenament

L'entrenament d'un TFT requereix un conjunt de bones pràctiques: una preparació acurada de les dades (neteja, imputació de valors que falten i normalització), estratègies de validació temporal (com *rolling windows*) i tècniques de regularització (*dropout*, *weight decay*) per evitar sobre ajust. La selecció d'hiperparàmetres; nombre de capes, dimensió dels *embeddings*, nombre de caps d'atenció; és crítica i es pot optimitzar mitjançant recerca automàtica.

## 2.5. Aplicacions

Des de la seva publicació, el TFT ha estat aplicat amb èxit en múltiples dominis: previsió de la demanda en logística i ventes, predicció de sèries de consum energètic, pronòstic de variables climàtiques i fins i tot en contextos mèdics i financers. El seu rendiment superior ha estat documentat repetidament, amb millores del MASE<sup>12</sup> i reduccions significatives del *weighted quantile loss* respecte a models de referència. Per exemple, en ventes s'ha demostrat una millora del MASE de 26–29 % i una reducció del WQL<sup>13</sup> de fins al 34 % respecte a referències estacionals (Oliveira & Ramos 2024)[18]. En l'energia, un estudi sobre previsió de càrrega elèctrica va aconseguir un MAPE<sup>14</sup> de només un 2,52 % a subestació, per a horitzons d'una setmana (Giamomazzi et al. 2023)[19]. A més, en medicina, s'ha obtingut una predicció de la pressió arterial intraoperatòria amb una AUC<sup>15</sup> de 0,933 en validació interna mitjançant TFT (Kapral, 2024)[20]. La seva interpretabilitat l'ha convertit

<sup>11</sup> VSN: *Variable Selection Network*; mòdul del TFT per ponderar i seleccionar variables de forma dinàmica i interpretable.

<sup>12</sup> MASE: *Mean Absolute Scaled Error*; error absolut escalat mitjà.

<sup>13</sup> WQL: *Weighted Quantile Loss*; pèrdua quantílica ponderada per regressió quantílica.

<sup>14</sup> MAPE: *Mean Absolute Percentage Error*; error absolut percentual mitjà.

<sup>15</sup> AUC: *Area Under the (ROC) Curve*; àrea sota la corba ROC; mesura de discriminació.

en un candidat ideal per a entorns en què la transparència és crucial, com la presa de decisions en salut, finances o gestió de riscos.

### 3. Requisits

En aquest capítol es documenten els requisits que ha de complir el sistema desenvolupat. Els requisits es divideixen en funcionals, que descriuen les funcionalitats concretes que l'aplicació ha d'oferir als usuaris, i no funcionals, que especifiquen les condicions de qualitat, seguretat, rendiment i mantenibilitat que ha de satisfer el sistema.

L'objectiu d'aquesta secció és deixar constància, d'una manera clara i estructurada, de què s'espera de l'aplicació tant des del punt de vista de l'usuari final com des del punt de vista tècnic.

#### 3.1 Requisits funcionals

Els requisits funcionals descriuen el comportament observable del sistema i s'expressen en forma de casos d'ús.

En aquest projecte, els requisits s'han definit a partir de les necessitats principals: permetre predir resultats de partits, consultar jornades senceres, accedir a l'històric i mantenir la coherència amb els resultats reals.

Casos d'ús principals:

- **Predicció puntual d'un partit (RF1):**  
L'usuari pot introduir dos equips i la data del partit, i l'aplicació mostra la probabilitat de victòria local, empat o victòria visitant, així com estadístiques previstes (gols, xuts, córners i targetes).
- **Predicció per jornada (RF2):**  
L'usuari pot seleccionar una jornada concreta d'una competició i obtenir, de forma agregada, les prediccions de tots els partits d'aquella ronda.
- **Consulta de l'històric (RF3):**  
El sistema ofereix un llistat de prediccions anteriors amb els seus resultats reals, de manera que l'usuari pugui avaluar la fiabilitat del model i detectar patrons.
- **Actualització de resultats reals (RF4):**  
Quan un partit ja ha finalitzat, el sistema permet sincronitzar les dades oficials amb la base de dades, garantint que les prediccions històriques quedin comparades amb els resultats reals.
- **Emmagatzematge de prediccions (RF5):**  
Cada consulta es desa automàticament a la base de dades amb metadades (equips, data, probabilitats, estadístiques). D'aquesta manera, es construeix un registre consultable i persistent.
- **Interfície gràfica intuïtiva (RF6):**  
L'usuari disposa d'una aplicació web amb pestanyes diferenciades per a prediccions puntuals, jornades i històrics, facilitant una navegació senzilla i clara.

### 3.2 Requisits no funcionals

Els requisits no funcionals estableixen les condicions de qualitat sota les quals ha de funcionar l'aplicació. No descriuen accions concretes sinó característiques generals que assegurin que el sistema és usable, segur i escalable.

- **Rendiment** **(RNF1):**  
Les respostes de predicció puntual han de ser ràpides (menys de cinc segons de mitjana). Per a una jornada completa, el temps d'espera no hauria de superar els quinze segons.
- **Escalabilitat** **(RNF2):**  
El *backend* s'ha d'executar en contenidors Docker i ser desplegable en plataformes *cloud* com Google Cloud Run. Això permet escalar horitzontalment si augmenta la càrrega.
- **Fiabilitat i disponibilitat** **(RNF3):**  
El sistema ha de tenir una disponibilitat mínima del 99% i la base de dades ha de disposar de còpies de seguretat periòdiques per evitar pèrdua de dades.
- **Seguretat** **(RNF4):**  
Els secrets (claus d'API i credencials de la base de dades) no poden estar incrustats al codi, sinó que s'han de gestionar mitjançant variables d'entorn o serveis de gestió de secrets. A més, cal restringir els orígens CORS<sup>16</sup> i protegir els *endpoints* sensibles amb autenticació.
- **Mantenibilitat** **(RNF5):**  
El codi ha de seguir bones pràctiques de programació i disposar de tests automatitzats. Això assegura que el sistema pugui evolucionar sense perdre fiabilitat.
- **Usabilitat** **(RNF6):**  
La interfície ha de ser clara, accessible i interactiva, mostrant missatges d'error entenedors i feedback visual en tot moment.
- **Portabilitat** **(RNF7):**  
L'aplicació ha de poder executar-se tant en entorn local com en entorn *cloud* sense canvis de codi, només amb configuracions d'entorn.

### 3.3 Actors i casos d'ús

Els actors principals identificats són:

- **Usuari:** persona que utilitza el predictor per obtenir resultats i consultar l'històric.

---

<sup>16</sup> CORS: *Cross-Origin Resource Sharing*; mecanisme del navegador que controla les sol·licituds entre diferents orígens (dominis) mitjançant capçaleres HTTP.

- **Administrador:** responsable d'actualitzar els resultats reals i executar accions especials.
- **API-Football:** servei extern que proporciona els partits, resultats i estadístiques oficials.

A continuació es mostren alguns casos d'ús representatius:

### UC1 – Predicció puntual d'un partit

- **Actors:** Usuari
- **Condicions prèvies:** Equips i data vàlids; Base de dades històrica accessible; model carregat.
- **Flux principal:**
  - L'usuari introdueix *home, away* i *date*.
  - El sistema valida i prepara les dades d'entrada.
  - Executa el model i calcula probabilitats 1X2 i mètriques.
  - Mostra els resultats i desa la predicció.
- **Post condició:** Predicció registrada amb metadades i disponible a l'històric.

### UC2 – Predicció per jornada

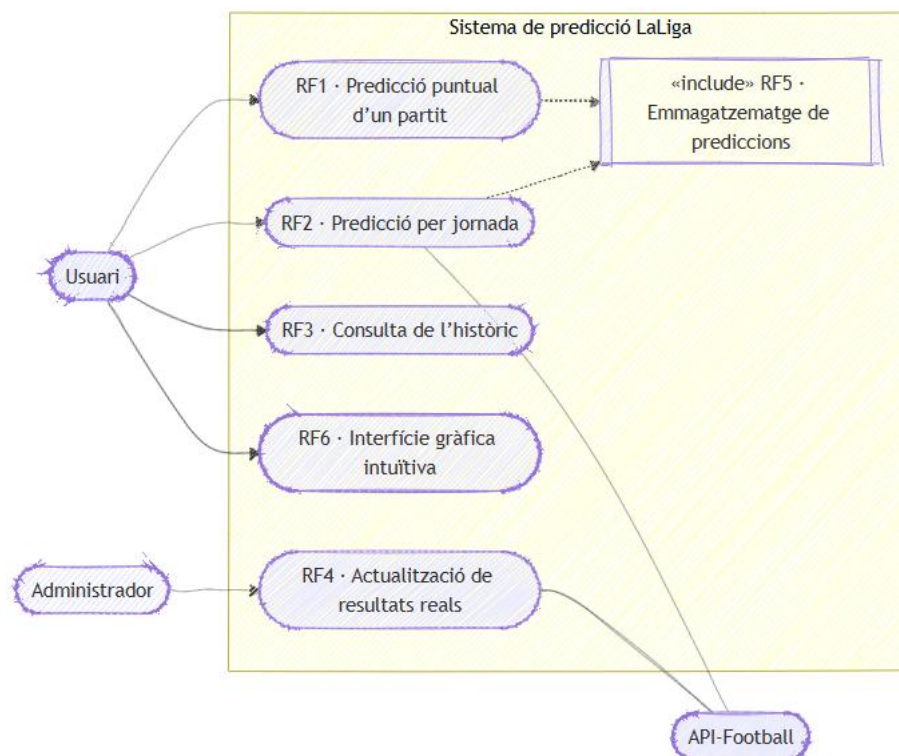
- **Actors:** Usuari, API-Football (extern)
- **Condicions prèvies:** Existeixen prediccions prèvies emmagatzemades; la base de dades operativa de prediccions és accessible; el servei està disponible.
- **Flux principal:**
  - L'usuari navega a la pestanya Històric.
  - El sistema mostra un formulari de filtre (equip, rang de dates, competició o jornada) i valida els paràmetres introduïts.
  - A continuació, el *backend* consulta la base de dades de prediccions aplicant els filtres i l'ordenació per data (descendent), i incorpora — si n'hi ha— els resultats reals vinculats a cada partit.
  - Tot seguit, el sistema retorna una llista paginada amb cada registre: equips, data, probabilitats 1X2, medians d'estadístiques (gols, xuts, córners i targetes) i, quan és pertinent, el marcador final i l'estat del partit.
  - Finalment, el *frontend* presenta la taula amb feedback de càrrega i missatges d'error entenedors; l'usuari pot ajustar filtres i paginació per refinar la consulta.
- **Post condició:** L'usuari visualitza l'històric conforme als filtres aplicats; no es modifiquen dades del sistema i queda garantida la traçabilitat entre predicció i resultat real per a la seva avaluació.

### UC3 – Consulta de l'històric de prediccions

- **Actors:** Usuari
- **Flux principal:**
  - L'administrador inicia la sincronització.
  - El sistema consulta API-Football i obté els resultats reals.
  - Actualitza la base de dades i vincula els resultats amb les prediccions fetes prèviament.
  - L'històric queda disponible per a comparacions.

### UC4 – Actualització de resultats reals

- **Actors:** Administrador, API-Football
- **Flux principal:**
  - L'administrador inicia la sincronització.
  - El sistema consulta API-Football i obté els resultats reals.
  - Actualitza la base de dades i vincula els resultats amb les prediccions fetes prèviament.
  - L'històric queda disponible per a comparacions.



**Figura 2.** Diagrama de casos d'ús (actors i RF)

## 4. Anàlisi dels requisits funcionals

Per validar que els requisits funcionals definits anteriorment són coherents i factibles, es realitza una anàlisi mitjançant diagrames UML<sup>17</sup>. Aquests diagrames permeten visualitzar les principals entitats i les interaccions que es produeixen quan els usuaris utilitzen el sistema.

L'anàlisi es divideix en dues parts:

- El diagrama de classes, que mostra les entitats del domini i les relacions entre elles, així com els components principals de l'aplicació.
- Els diagrames de seqüència, que representen el flux temporal d'un parell de casos d'ús clau (predicció puntual i actualització de resultats).

### 4.1 Diagrama de classes

El diagrama de classes proporciona una visió estructural del sistema. Es poden distingir dos grans blocs:

**1. Domini del problema:** les entitats pròpies del futbol i les prediccions:

Representa la realitat esportiva i els artefactes de predicció. Són classes “pures”, sense lògica d'infraestructura.

- Team

Identifica un equip. Es relaciona amb League i participa en Match com a local o visitant.

- League

Agrega equips i partits d'una competició/temporada.

- Match

Defineix un enfrontament (equips, data, estat, marcador). Actua com a “agregat” del qual pegen prediccions i estadístiques.

- MatchStats

Conté les estadístiques reals d'un partit (xG, xuts, córners, grogues...). És opcional fins que el partit finalitza.

- Prediction

Registre puntual de predicció: marcador previst, guanyador, confiança, medianes d'estadístiques i probabilitats 1X2. Pot existir-ne més d'una per Match al llarg del temps.

- RoundPrediction

---

<sup>17</sup> UML: *Unified Modeling Language*: llenguatge unificat de modelatge estàndard per descriure sistemes de programari.

Instantània per jornada: guarda la predicció prèvia i, quan el partit finalitza, la darrera predicció i les estadístiques reals. Serveix com a caché persistent de Match dins d'una jornada.

**2. Capa d'aplicació i serveis:** els components software que fan possible la interacció i coordina casos d'ús, integra el model i encapsula infraestructures externes (bases de dades i proveïdor de dades).

- PredictionController (façana de l'API)

Rep peticions del frontend, valida entrades (p. ex., equips duplicats), invoca casos d'ús i retorna DTO<sup>18</sup> per a la UI<sup>19</sup>.

- PredictorService

Orquestra una inferència: construeix les característiques, invoca el model i transforma la sortida en resultats de negoci (marcador previst, probabilitats, medianes).

- FeatureBuilder

Construeix el panell d'entrades del model (sèries, finestres mòbils, condició local/visitant, calendari, similitud d'estil).

- TFTModel

Component de modelatge: carrega el *checkpoint*, executa la inferència i retorna quantils/medians.

- ResultsSyncService

Sincronitza partits finalitzats: resol partits, baixa estadístiques reals, actualitza MatchStats, Prediction i RoundPrediction quan cal.

- ApiFootballClient

Client cap al proveïdor extern: cerca equips/partits i obté estadístiques reals amb gestió d'errors i límits.

- Repositoris (PredictionRepository, MatchRepository, RoundRepository)

Encapsulen l'accés a la base de dades i ofereixen mètodes d'alt nivell (buscar per partit, desar instantànies, paginar històrics, etc.).

Aquesta separació de responsabilitats facilita el manteniment i permet que el sistema sigui extensible: per exemple, es podria substituir el model TFT per un altre sense alterar el controlador.

---

<sup>18</sup> DTO: *Data Transfer Object*; objecte de transferència de dades entre capes o serveis; estructura plana i serialitzable (p. ex., JSON).

<sup>19</sup> UI: *User interface*; interfície d'usuari; conjunt de pantalles, components i interaccions amb què l'usuari opera l'aplicació.

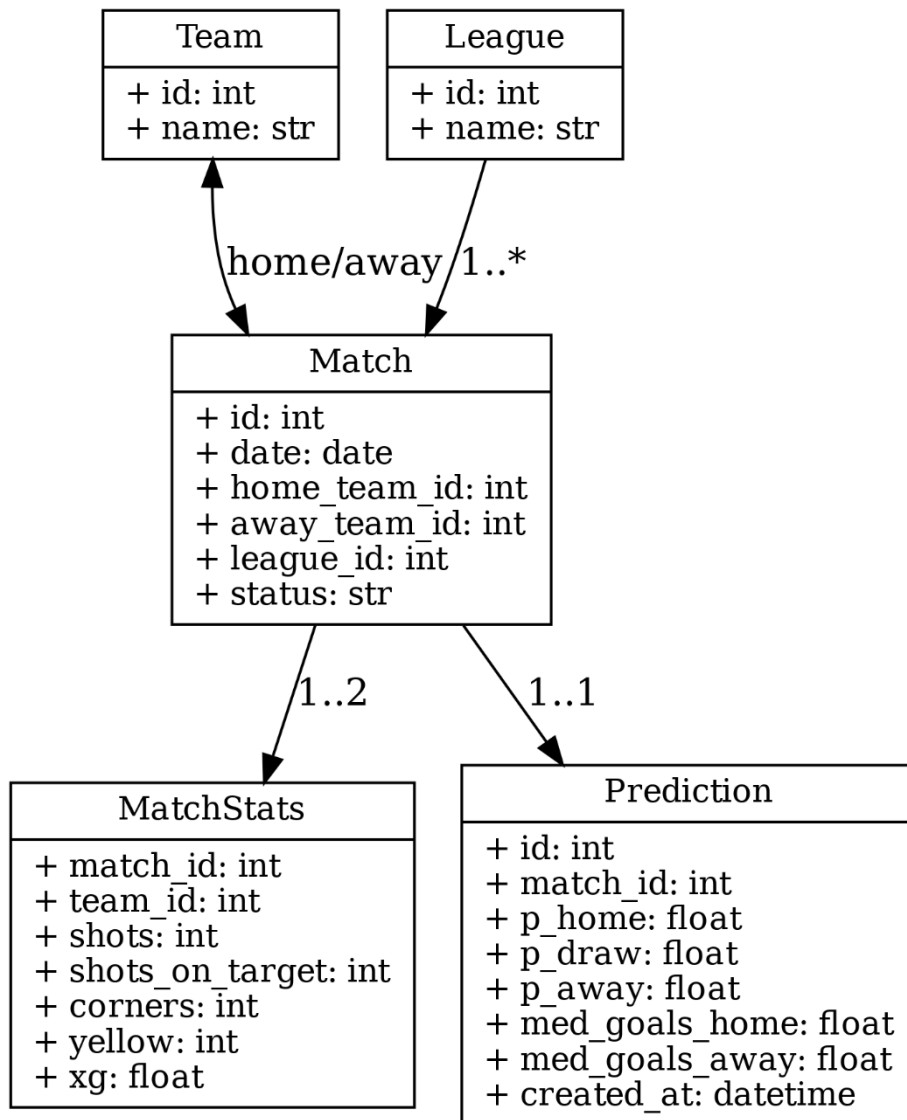


Figura 3. Diagrama de classes de les bases de dades.

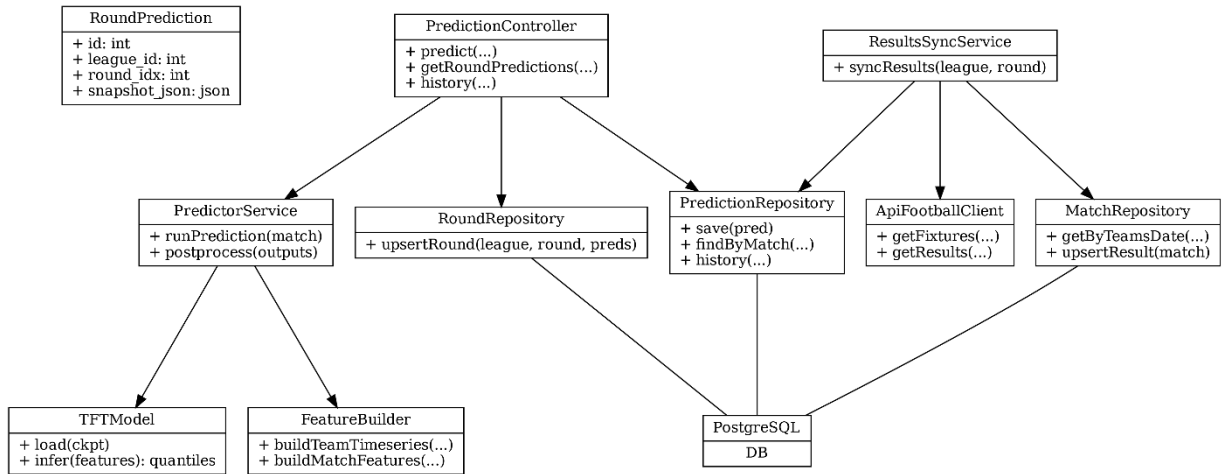


Figura 4. Diagrama de classes del sistema Predictor Web.

## 4.2 Diagrames de seqüència

Per entendre millor com es duen a terme els casos d'ús, es representen els fluxos principals de missatges entre actors i components.

### 4.2.1 UC1 — *Predicció puntual d'un partit*

En aquest escenari, un usuari introdueix els equips i la data d'un partit. El *frontend* envia la petició al servidor, que:

1. Construeix les característiques d'entrada a través de FeatureBuilder.
2. Executa el model TFTModel per obtenir probabilitats i mètriques previstes.
3. Desa la predicció a la base de dades amb PredictionRepository.
4. Retorna el resultat al frontend, que el mostra de manera visual.

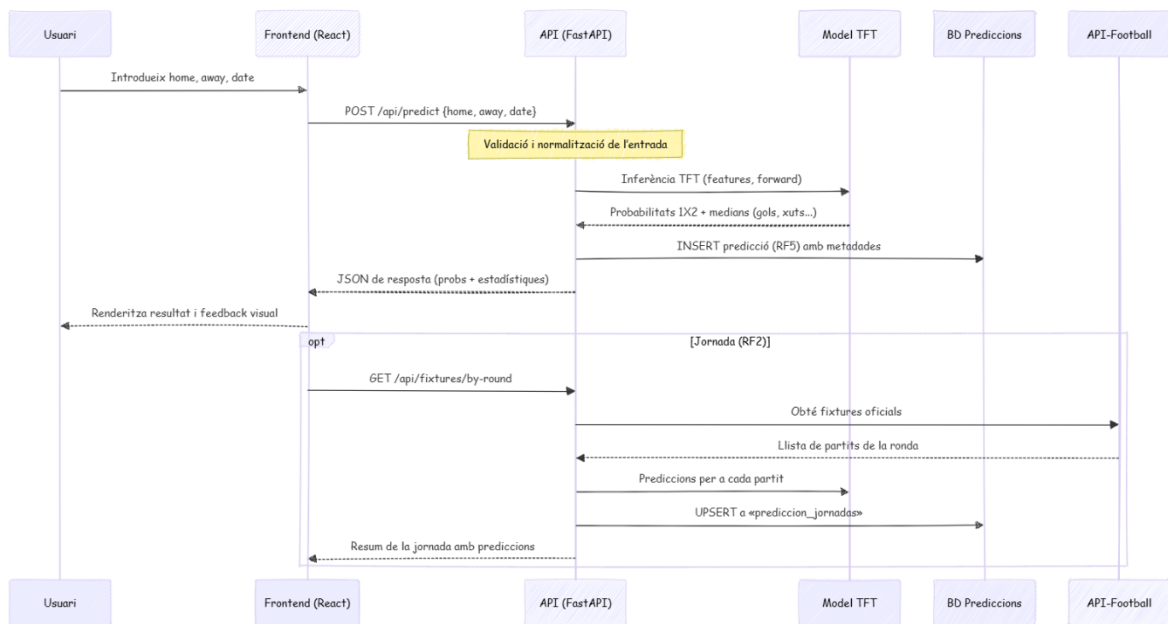


Figura 5. Diagrama de seqüència UC1 (predicció puntual).

#### 4.2.2 UC2 — *Predicció per jornada*

En aquest escenari, l'usuari vol obtenir d'un sol cop d'ull les prediccions de tots els partits d'una jornada. El *frontend* envia la selecció de lliga i ronda al servidor, que, en primer lloc, consulta API-Football per recuperar els partits oficials. Tot seguit, si hi ha caché de jornada, recupera les prediccions guardades; altrament, recalcula partit a partit: construeix les característiques amb FeatureBuilder, executa TFTModel i introdueix a la taula de jornada a través de RoundPredictionRepository. Finalment, retorna al *frontend* el llistat complet de partits amb probabilitats 1X2 i medians d'estadístiques, que es mostren a la pestanya corresponent.

Passos principals:

1. L'usuari selecciona lliga i jornada al *frontend*.
2. El servidor sol·licita els partits a API-Football.
3. Si existeix caché de jornada, la llegeix i la retorna.
4. En cas contrari, per a cada partit, construeix característiques, executa el model i desa o actualitza la predicció.
5. El servidor retorna el resum de la jornada i el *frontend* el presenta de forma agregada.

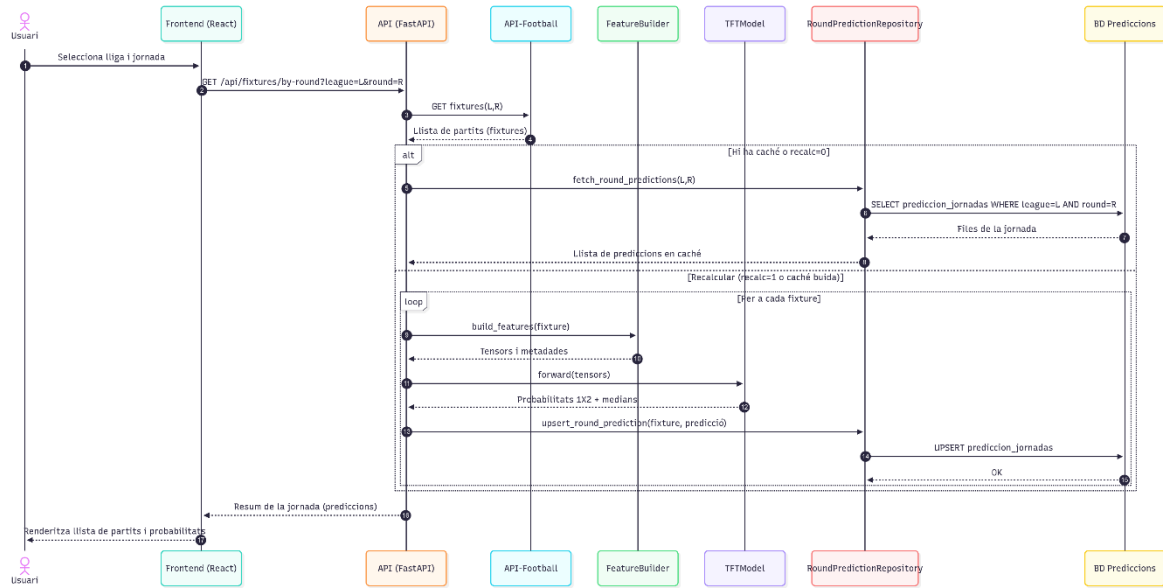


Figura 6. Diagrama de seqüència UC2 (predicció per jornada).

#### 4.2.3 UC3 — Consulta de l'històric de prediccions

En aquest cas d'ús, l'usuari vol revisar les prediccions realitzades anteriorment i, si és possible, contrastar-les amb els resultats reals. El *frontend* envia els filtres (equip, rang de dates, competició o jornada) i la paginació al servidor. L'API valida els paràmetres, consulta la base de dades a través de PredictionRepository i retorna una llista paginada amb els camps clau: equips, data, probabilitats 1X2, medians d'estadístiques i, quan es disposa, marcador final i estat del partit. D'aquesta manera, l'usuari pot avaluar la fiabilitat del model i detectar patrons d'error.

##### Passos principals

1. L'usuari obre la pestanya Històric i aplica filtres seleccionats.
2. El servidor valida la petició i construeix la consulta parametritzada.
3. PredictionRepository recupera les prediccions i enllaça, si n'hi ha, els resultats reals.
4. Es retorna una pàgina de resultats amb metadades de paginació.
5. El *frontend* mostra la taula, amb estats de càrrega i missatges d'error entenedors.

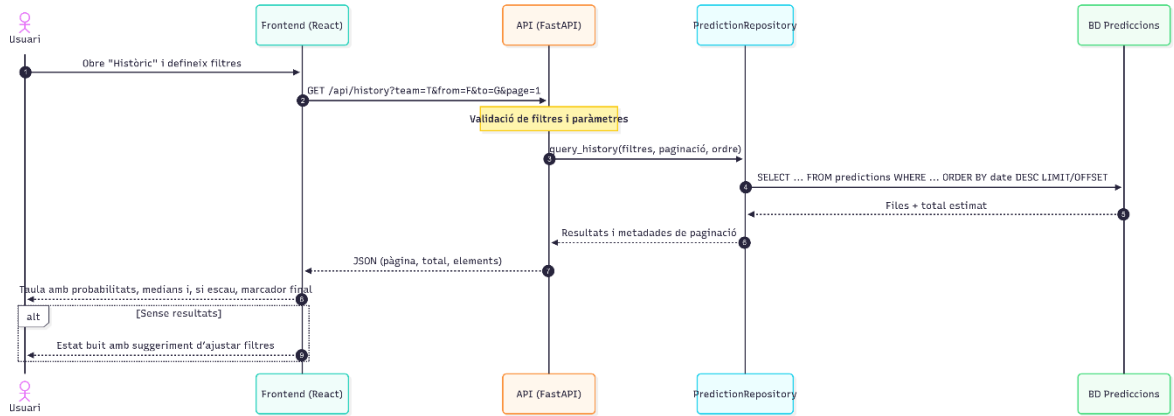


Figura 7. Diagrama de seqüència UC3 (consulta de l'historic).

#### 4.2.4 UC4 — Actualització de resultats reals

Aquest cas d'ús el du a terme un administrador. El procés és el següent:

1. L'administrador prem el botó "Sincronitzar resultats".
2. El sistema invoca ResultsSyncService, que consulta l'API-Football.
3. Es recuperen els resultats oficials dels partits acabats.
4. Es fan les actualitzacions corresponents a la base de dades (MatchRepository i PredictionRepository), vinculant els resultats reals amb les prediccions anteriors.
5. El sistema retorna un missatge de confirmació.

Aquest flux garanteix el seguiment i la validació de les prediccions.

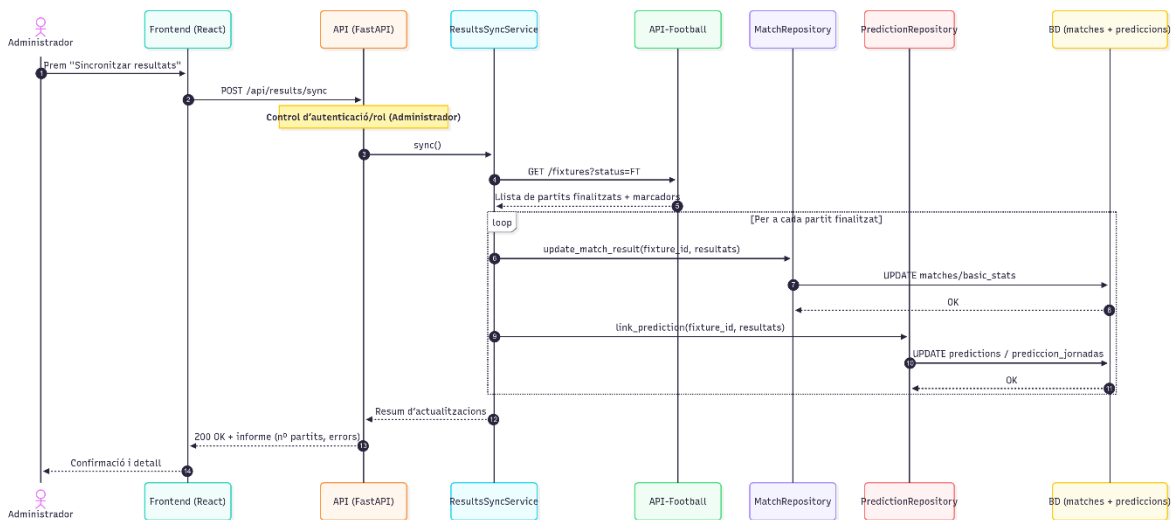


Figura 8. Diagrama de seqüència UC4 (actualització de resultats).

### 4.3 Discussió

L'anàlisi UML confirma que els requisits funcionals són consistents amb l'arquitectura proposada:

- Els actors interactuen amb el sistema de manera clara i diferenciada.
- La separació de capes (domini, serveis, repositori) garanteix mantenibilitat.
- Els diagrames de seqüència mostren com es compleixen els requisits definits prèviament, des de la petició de l'usuari fins a la persistència a la base de dades.

Aquest exercici ha permès validar els requisits i anticipar possibles punts crítics (per exemple, la dependència de l'API-Football en la sincronització de dades o el temps de resposta del model en la predicció puntual).

## 5. Disseny

El disseny del sistema parteix d'una arquitectura amb capes clares que separen responsabilitats i faciliten tant l'evolució del model com la del producte web. L'objectiu essencial és servir prediccions i estadístiques de partits de LaLiga amb latència baixa i traçabilitat completa: des de la gestió i recopilació de dades històriques fins a la presentació visual al navegador. A continuació s'exposa aquesta arquitectura, el disseny de la interfície i la persistència, tot argumentant els compromisos i les millores plantejades a partir de l'anàlisi estàtica de tots els fitxers i recursos del projecte.

L'aplicació s'organitza al voltant de quatre eixos. En primer lloc, la capa de presentació, que resideix en un projecte modern de React amb TypeScript i una petita biblioteca de components d'interfície reutilitzables. En segon lloc, el servei HTTP<sup>20</sup> que actua com a façana única, valida l'entrada, orquestra la inferència del model i persisteix tant el resultat com els enllaços a partits i resultats oficials. En tercer lloc, la capa de model, que encapsula el *Temporal Fusion Transformer* amb la seva preparació d'entrades, el postprocessat orientat a resultats 1X2 i la serialització del *checkpoint*. Finalment, el subsistema de dades històriques, que agrupa un conjunt d'excels per temporades, scripts d'importació i un client robust d'API-Football per completar i contrastar estadístiques com els gols o xuts.

Pel que fa al desplegament de la web, s'ha optat per un servei contenidor (Cloud Run) que carrega el checkpoint del model a l'arrencada i el manté resident en memòria per garantir latències estables. Les dades persistents es divideixen en una base de dades històrica de lectura i una base operativa de prediccions, fet que permet optimitzar consultes per jornada i per partit. En aquest entorn, s'ha utilitzat Cloud Secret Manager per ocultar les dades sensibles, en particular la clau d'API emprada per consultar els propers partits i estadístiques i la contrasenya de la base de dades. A la pràctica, els secrets es proporcionen a l'aplicació com a variables d'entorn en temps de desplegament, de manera que no queden mai incrustats al codi ni a la imatge Docker. Addicionalment, s'ha configurat el principi de mínim privilegi mitjançant rols d'IAM<sup>21</sup> específics perquè només el servei d'execució pugui llegir aquests secrets, i s'ha previst la rotació periòdica amb registre d'auditoria. En desenvolupament local, els valors es carreguen des d'un fitxer `.env`, a partir d'un `.env.example` documentat, cosa que evita filtracions accidentals i manté la coherència entre entorns. Aquesta estratègia, conjuntament amb la restricció de CORS a dominis de confiança i l'ús d'una capa opcional de memòria cau, assegura un desplegament robust i alineat amb els requisits de seguretat i escalabilitat del projecte.

Pel que fa a la interfície gràfica, el disseny aposta per tres experiències ben definides que responen a preguntes que té qualsevol aficionat informat. D'una banda, la consulta puntual d'un partit, on es mostren probabilitats 1X2, marcadors previstos i les estadístiques rellevants, sempre ressaltant el resultat agregat perquè la lectura sigui immediata. D'altra banda, la visió per jornada, que permet repassar d'un sol cop d'ull tots els partits d'una ronda, observar el pronòstic per a cadascun i comprovar-hi, un cop finalitzats, la concordança amb els resultats reals. Finalment, l'històric de prediccions, que facilita filtrar per equip, repassar

---

<sup>20</sup> HTTP: *Hypertext Transfer Protocol*.

<sup>21</sup> IAM: *Identity and Access Management*; Rols per al principi de mínim privilegi al núvol.

el seguiment temporal i detectar patrons com la tendència a sobreestimar empats o a sobrevalorar equips locals concrets. La coherència visual s'aconsegueix amb un sistema de components uniformes, i l'accessibilitat es té present amb focus visibles i missatges d'estat clars.

El disseny de la persistència és dual. La base històrica recull per temporada els enfrontaments amb camps clàssics (gols, xuts totals i a porteria, córners, faltes, targetes, possessió, passades, xG, etc), i els integra en una taula principal de partits i una de derivada d'estadístiques per partit i equip. A partir d'aquest nucli, el projecte construeix una vista “per equip i partit” que duplica cadascun dels enfrontaments en dues files (local i visitant) i genera variables de forma amb finestres mòbils per capturar tendències. A continuació, es fixa explícitament un tall temporal per separar entrenament, validació i prova, la qual cosa evita filtracions d'informació i permet fer un seguiment honest del rendiment del model en períodes recents. En paral·lel, la base operativa de prediccions conserva tant el resum ràpid (probabilitats, marcador previst, medians de gols, xuts, córners i grogues), com el darrer instantani del resultat real quan el partit ja és final.

En relació amb la seguretat i l'observabilitat, el disseny estableix els fonaments, però és prudent reforçar-lo per a producció. La configuració per defecte permet qualsevol origen al CORS i defineix credencials locals a diversos scripts d'ingestió; són decisions adequades en desenvolupament, però cal reemplaçar-les per llistes d'orígens permesos i gestors de secrets quan es desplega públicament. Igualment, convé substituir missatges informatius a consola per registre estructurat i exposar mètriques de latència i èxit de les rutes, juntament amb el temps d'inferència i els errors de connexió a la base de dades o a l'API externa. Aquestes mesures, complementades amb traces distribuïdes en crides sortints, permeten diagnosticar problemes i mantenir la qualitat de servei.

## 5.1 Arquitectura

L'arquitectura segueix un esquema net de client–servei–model–dades. El navegador envia consultes i comandes de jornada al servei HTTP, que les valida, aplica la lògica de negoci i retorna dades en format JSON<sup>22</sup> o fitxers estàtics. Quan és necessari, el servei invoca el model resident per obtenir una predicció i, a continuació, registra el resultat i l'associa, si escau, al partit i a la lliga corresponents. Aquest recorregut és curt i comprensible, i permet diferenciar clarament la lògica d'inferència de la d'accés a dades. Paral·lelament, un conjunt d'*scripts* prepara els conjunts d'entrenament a partir de la base històrica, genera la sèrie per equip amb les transformacions adequades i guarda els conjunts en formats columnars que faciliten sessions d'entrenament repetibles. En aquest punt, s'ha incorporat una ponderació específica per a la Segona Divisió (identificada per la lliga amb codi 141) que redueix el pes de certes estadístiques per reflectir un nivell competitiu i uns ritmes de partit diferents; és una decisió empírica que millora la robustesa del model quan es barreja informació de categories. S'utilitzen dades de la segona divisió ja que si un equip puja de divisió i no ha jugat mai a la primera divisió, o fa més de deu anys que no hi competeix, no disposaríem de prou dades ni partits recents per entrenar el model i fer les prediccions amb garanties.

La correspondència entre mòduls i responsabilitats és conseqüent amb aquesta visió. El frontal agrupa els components de predicció puntual, jornada i històric, juntament amb una

---

<sup>22</sup> JSON: *JavaScript Object Notation*.

petita biblioteca d'elements d'interfície i utilitats. El servei HTTP articula la façana, munta l'estàtic del frontal, gestiona la sessió de base de dades de prediccions i exposa rutes per predir, actualitzar resultats i consultar l'històric. La capa de model conté el *Temporal Fusion Transformer* i les seves peces (selecció de variables, atenció temporal i pèrdua quantílica), així com el post processat que transforma medians de gols en probabilitats 1X2 coherents. La capa de dades històriques, finalment, aporta connectors a la base de dades de lectura, un constructor de sèries per equip, càlculs de forma amb finestres i una mètrica de similitud d'estil de joc que enriqueix les entrades del model. L'efecte combinat és el d'un sistema modular on cada peça compleix un paper precís i substituïble.

A continuació represento l'arquitectura i els fluxos principals, amb les capes rellevants identificades:

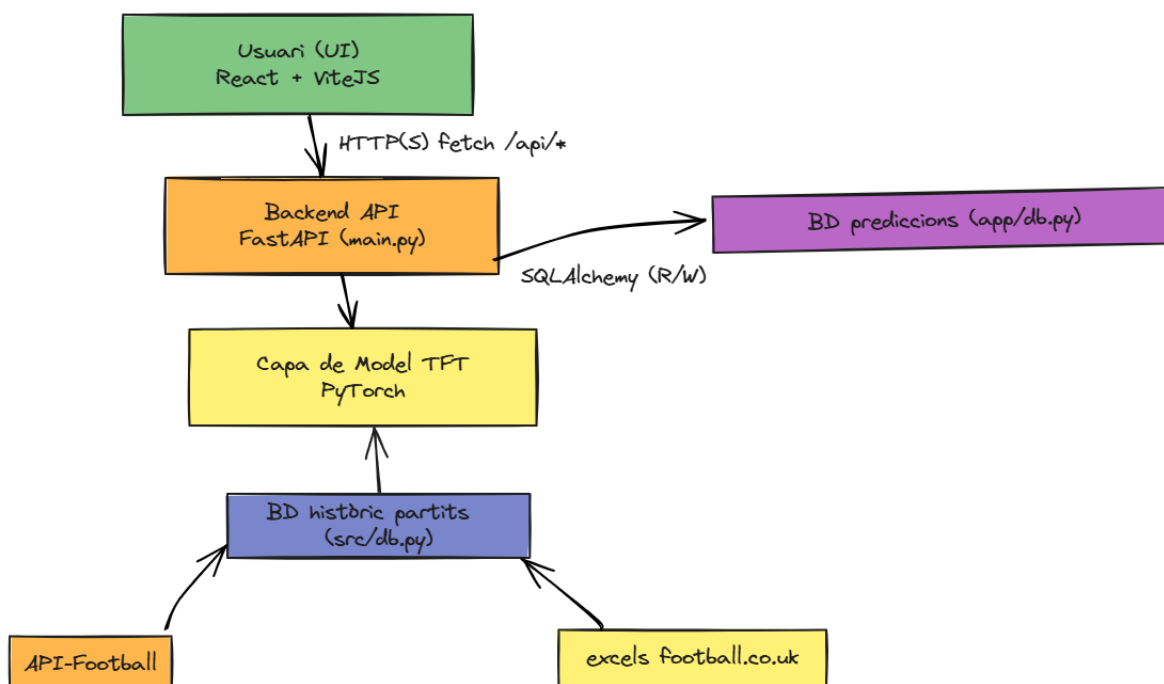


Figura 9. Arquitectura del projecte

## 5.2 Disseny de la interfície gràfica

La interfície es construeix amb l'objectiu que sigui la més intuïtiva i fàcil de fer anar. En el flux de predicció, l'usuari tria els equips i la data, confirma la petició i rep una resposta on el component principal és el resultat 1X2, acompanyat per valors representatius d'estadístiques clau. Aquesta jerarquia visual és intencionada: el pronòstic és l'element estrella, mentre que xuts, córners o targetes aporten context i altres estadístiques en les que fixar-se. A la vista de jornada, les targetes desplegable per cada partit mantenen la mateixa semàntica i, quan hi ha dades reals disponibles, s'integra una comparativa "previst-real" que afavoreix la comprensió de l'usuari. L'històric, per la seva banda, ofereix una taula filtrable que resumeix prediccions i resultats; així, és possible detectar on el model encerta o on presenta biaixos, en especial amb equips que trenquen tendències.

L'arquitectura de components garanteix consistència d'estils i facilita el manteniment. Les crides al servei es concentren en punts previsibles i el control d'estat, (càrrega, error, èxit) és explícit i comunicat mitjançant indicadors i missatges. En aquest context, la principal millora proposada és incorporar una capa de client que centralitzi les crides i gestioni la memòria cau amb invalidació per clau {lliga, ronda} o {equip, data}. D'aquesta manera, la navegació entre pestanyes pot aprofitar resultats recents, minimitzar sol·licituds redundants i suavitzar la percepció de latència. També és convenient revisar contrastos i etiquetatge per optimitzar l'accessibilitat, així com oferir alternatives de visualització com gràfics de tendència de forma o bandes d'incertesa quan es treballi amb quantils addicionals.

### 5.3 Disseny de les bases de dades

L'històric, que és el fonament de l'entrenament, es normalitza amb dues taules diferents: una de partits amb camps de clau, data, temporada i marcador, i una d'estadístiques tàctiques i tècniques vinculada per identificador de partit. A partir d'aquestes dos, el sistema genera la taula “per equip” que facilita les finestres temporals i la creació d'indicadors de forma. Aquesta segregació es justifica perquè evita la duplicació de camps i permet incorporar, en el futur, noves mètriques com models de possessió esperada o altres dades d'ocurrència d'esdeveniments.

La base de prediccions, en canvi, es desnormalitza amb cura per servir el *frontend* amb rapidesa. Cada predicció puntual conserva els inputs essencials (equips i data), el resum de sortida (marcador previst, resultat 1X2 i confiança), un conjunt de medians d'estadístiques i, quan n'hi ha, el darrer estat real del partit, incloent-hi els gols i les estadístiques desitjades. Per a la jornada, s'emmagatzema una col·lecció de files amb la predicció vigent per a cada partit de la ronda i un camp d'instantani que recull la resposta completa de la inferència. Aquesta tria sacrifica una mica de normalització a canvi d'eficiència de consulta, fet que és coherent amb un cas d'ús intensiu de lectura.

La qualitat de dades és una preocupació continuada. L'importador històric s'enfronta a formats heterogenis de dates i a noms d'equip variants; per això, s'estandarditzen els noms i es construeix un identificador de partit derivat d'equips i temporada, enriquit amb la data per resoldre duplicats. En paral·lel, el client d'API-Football tracta amb registres parcials i terminologia no sempre consistent; la implementació aferma aquest punt amb lògica tolerant que cerca xG en diverses denominacions i associa estadístiques als equips correctes usant identificadors quan és possible. La conseqüència d'aquests mecanismes és un conjunt més complet i fiable, clau per a l'entrenament i per a la validació posterior.

Per concloure, la persistència dona suport tant al rigor del model com a l'agilitat del producte. L'històric es manté net i extensible; la base de prediccions, ràpida i pràctica. Les millores recomanades passen per afegir migracions versionades, completar índexs sobre claus de consulta (lliga, temporada, data, ronda i equip), i considerar particionament per temporada en taules voluminoses per reduir temps d'escaneig. També és pertinent restringir usuaris i privilegis a la base de dades, així com regularitzar la gestió de secrets i *endpoints* sensibles.

## 6. Implementació

Aquest capítol descriu com s’ha implementat el sistema a nivell tecnològic i d’algorisme, sense entrar en rutes de fitxers ni detalls de codi interns, i posa èmfasi en les decisions de disseny, les validacions, el flux de dades i les funcionalitats visibles a la interfície.

### 6.1 Stack i dependències

Per a la base de dades històrica, s’ha consolidat en PostgreSQL a partir de dues fonts complementàries:

- (i) L’API d’API-Football, consumida amb un client Python propi, per descarregar calendaris i estadístiques finals (incloent-hi xG) i actualitzar-les a la base de dades amb tolerància a variants de camps i límits de crides
- (ii) Fitxers CSV/Excel (de football.co.uk) des d’on s’ingereixen resultats i estadístiques bàsiques sense consumir quota d’API, la qual cosa facilita omplir forats quan una mètrica és present en una font i no en l’altra.

Els fulls es processen amb pandas i s’aboca a les taules `matches` i `basic_stats`, normalitzant noms d’equips i construint un identificador estable `match_id` (LOCAL+VISITANT+any curt i, si cal, la data) junt amb el càlcul de la temporada; després s’insereixen resultats i mètriques com xuts, targetes i córners.

El procés de l’API localitza cada partit pel `match_id` i actualitza camps addicionals (p. ex., xG i possessió) a `basic_stats`. Aquesta combinació de API + CSV/Excel maximitza la cobertura i redueix la dependència de la quota, deixant el conjunt històric complet i coherent a PostgreSQL.

El *backend* s’ha implementat amb Python 3.12 i FastAPI per exposar serveis d’inferència i consulta. El model de predicció corre amb PyTorch i es carrega una sola vegada a l’arrencada, de manera que s’eviten latències innecessàries i càlculs repetits entre peticions. La persistència de dades es resol amb PostgreSQL (Cloud SQL) i SQLAlchemy com a ORM. Al nucli del disseny hi ha dues taules: `predictions`, que registra cada inferència puntual amb el resum del marcador previst, el guanyador i la confiança, les medianes de variables (xuts, córners, grogues...) i les probabilitats 1X2, així com les dades reals, marcador i estadístiques (gols, xuts, córners, grogues), quan el partit ha finalitzat i un `result_json` amb la resposta completa; i `prediccion_jornadas`, que actua com a caché persistent per jornada: hi desa la predicció prèvia de cada partit i, en el moment que passa a “finalitzat”, guarda la darrera predicció i les estadístiques reals.

El *frontend* s’ha construït amb Vite, React i TypeScript, estilitzat amb Tailwind i la llibreria de components `shadcn/ui`. La comunicació amb el *backend* es fa amb React Query, que aporta caché, gestió d’estats de càrrega i tractament d’errors de manera coherent, i s’ha prioritzat un disseny accessible i sobri. El desplegament es fa amb una imatge multi-stage: primer es compila el *frontend* i després s’empaqueta el *backend* amb les dependències Python. A Cloud Run es configuren les variables d’entorn (clau del proveïdor de dades i credencials de base de dades), s’estableix `containerConcurrency: 1` per evitar dupliques

d'escriptura i s'activa l'auto escalat. Per controlar el pressupost de crides a serveis externs, en aquest cas com tenim crides limitades a API-football, no hi ha sincronització automàtica en segon pla: les actualitzacions només s'executen quan l'usuari prem explícitament el botó corresponent.

## 6.2 Algoritme de predicció (TFT)

El sistema utilitza un Temporal Fusion Transformer per predir, per a cada equip i partit, medians i quantils de variables rellevants (gols, xG i estadístiques agregables). Les entrades del model combinen tres blocs: variables estàtiques (identitat d'equip i lliga, i altres condicions invariants), *known future inputs* disponibles a la data del partit (condició local/visitant, calendari de jornada, rival codificat) i sèries observades del passat (gols, xG, xuts, possessió, córners, targetes...), enriquides amb finestres mòbils de 3/5/10 partits, dies de descans, una mètrica de similitud d'estil entre equips per capturar patrons de comportament en enfrontaments concrets.

A més, s'ha incorporat explícitament la forma de l'equip i una ponderació temporal de les sèries històriques. La forma es calcula com la suma de punts dels últims N partits (3 victòria, 1 empat, 0 derrota; N=5 per defecte) sense incloure el partit actual. Paral·lelament, les finestres mòbils de 3/5/10 partits es calculen amb pesos exponencials segons l'antiguitat del partit, de manera que els enfrontaments més recents compten més en la mitjana ponderada; també s'inclou la variable de dies de descans entre partits. Aquesta forma i aporta sensibilitat a l'estat recent dels equips i millora l'estabilitat del model en contextos amb ritmes competitiu canviants.

A nivell d'arquitectura, el model fa tres coses clau: transforma les variables categòriques en *embeddings*<sup>23</sup> i projecta les contínues a un espai comú, estabilitzats amb GRN<sup>24</sup> i GLU; selecciona automàticament quines variables pesen més en cada predicció i utilitza un LSTM com a *encoder*<sup>25</sup> local combinat amb una ponderació dels passos temporals recents. La sortida proporciona quantils per objectiu i, a inferència, s'extreu la mediana (q=0,5) de gols per a local i visitant. Aquestes medianes es projecten a probabilitats 1X2 mitjançant un capçal Poisson coherent, que garanteix consistència probabilística. L'entrenament emprà un tall temporal per a la separació train/val/test, un *lookback* d'aproximadament 38 partits (1 temporada completa) i quantils [0,1; 0,5; 0,9], gradient *clipping*<sup>26</sup> i *early stopping*<sup>27</sup>, i es desa el millor *checkpoint* amb la configuració i la informació necessària per reconstruir *embeddings*.

## 6.3 Backend i API

La predicció puntual rep com a entrada l'equip local, l'equip visitant i la data. S'apliquen validacions prèvies: es prohibeix que local i visitant siguin el mateix equip, amb normalització de noms per evitar falsos positius per accents o variants de caixa, i es requereix informar tots dos equips. Un cop validat, s'executa la inferència TFT i es desa a base de

---

<sup>23</sup> *Embeddings*: vectors que representen categories (equip, lliga, etc.) perquè el model les entengui numèricament.

<sup>24</sup> GRN: *Gated Residual Network*; bloc que combina connexions residuals, normalització i "portes" per estabilitzar i enriquir les projeccions de les variables.

<sup>25</sup> *Encoder* (LSTM): resum seqüencial dels passos temporals recents abans de fusionar-los amb la informació del partit actual.

<sup>26</sup> *Gradient clipping*: límit a la norma del gradient per evitar inestabilitats.

<sup>27</sup> *Early stopping*: atura l'entrenament quan la validació deixa de millorar, evitant sobreajust.

dades amb el resum (marcador previst, guanyador i confiança), les medianes d'estadístiques i les probabilitats 1X2. Si el partit ja està resolt i finalitzat, el sistema recupera les estadístiques reals (xG, xuts, córners, grogues) i les persisteix al mateix registre. La resposta que rep el client inclou tots aquests elements perquè la interfície pugui fer la comparativa immediatament.

Per a la gestió de jornada s'utilitza una caché persistent. Quan es consulta una jornada, el servei retorna els partits amb dos blocs: un bloc “predicted” amb el marcador previst, les medianes i les probabilitats 1X2 (que la UI mostra arrodonides), i un bloc “actual” amb el marcador real i les estadístiques reals si el partit ha finalitzat. Si un partit encara no és final i no hi ha cap predicció guardada, se'n calcula una i queda desada per a consultes posteriors. Quan el partit finalitza, es genera una última predicció (*snapshot* final) i es registren el marcador i les estadístiques reals. Per reduir el consum d'API externes, aquests recàlculs no s'executen en segon pla: només es fan quan l'usuari prem el botó de “Recalcular jornada”.

La vista d'històric retorna la llista de prediccions amb els valors previstos i, si n'hi ha, els reals, acompanyada d'un resum d'encert que només té en compte partits finalitzats; així s'eviten biaixos derivats de partits pendents. Si algun partit finalitzat encara no té estadístiques reals persistides, l'usuari pot prémer “Actualitzar resultats” perquè el *backend* les recuperi i les desi de nou, sota control manual per estalviar crides.

Finalment, la capa de robustesa i seguretat es fonamenta en excepcions HTTP clares amb missatges entenedors per a l'usuari (per exemple, en validar equips duplicats), un pool de connexions a base de dades ben dimensionat, reintents prudents i límits de temps en crides externes per evitar bloquejos. Com a millores futures, s'hi podrien afegir una caché in-memòria o Redis amb TTL curt per a respostes freqüents i un *rate-limiting* bàsic al frontal de l'API.

## 6.4 Frontend

La interfície es divideix en tres vistes principals. Totes les estadístiques que es mostren a la UI (predites i reals) es presenten arrodonides per llegibilitat. Tampoc es fan crides automàtiques en bucle: l'usuari decideix quan refrescar.



Figura 10. Pàgina inicial de la web.

### 6.4.1 Nova predicció individual

- L'usuari introdueix equip local, equip visitant i data.
- Validacions:
  - Prohibits local i visitant idèntics (amb normalització de textos per evitar falsos positius per accents o majúscules).
  - Requerits els dos equips (si falta algun, s'avisava).
- Resultat:
  - Es mostra el marcador previst gran, el guanyador previst i la confiança (màxim de les probabilitats 1X2).
  - Es comparen medians (xuts, córners, grogues) entre local i visitant, tot arrodonit.
  - La data mostrada a la targeta és la data seleccionada; si l'usuari no n'escull cap, es mostra la data actual per evitar confusions visuals.



El formulari de nova predicció té un menú superior amb tres opcions: 'Nueva Predicción' (en verd), 'Próxima Jornada' i 'Historial'. El títol principal és 'Nueva Predicción' amb un ícon d'horari. Sota el títol hi ha el text 'Ingresa los datos del partido para obtener la predicción'. El formulari té tres camps d'entrada: 'Equipo Local' (amb 'Oviedo' escrit), 'Equipo Visitante' (amb 'Real Madrid' escrit) i 'Fecha del Partido' (amb '24/08/2025' i un ícon de calendari). A la part inferior hi ha un botó verd 'Generar Predicción'.

**Figura 11.** Formulari de nova predicció (estat inicial, data per defecte avui)



El resultat de la predicció mostra el marcador 'Oviedo 1 : 2 Real Madrid' per al dia '2025-08-24'. Real Madrid és el favorit amb una confiança del 58%. A continuació, es presenten les dades comparatives per categoria:

Oviedo	Comparativa	Real Madrid
1	⚽ Goles (pred.)	2
1	⚡ xG (mediana)	2
10	🎯 Tiros	14
4	📄 Córners	5
2	⚠️ Amarillas	2

**Figura 12.** Resultat d'una predicció.

### 6.4.2 Jornades

- Selecció de jornada (actual o qualsevol altra) amb navegació anterior/següent.
- Llistat de partits agrupats per data.
- Marcador a la targeta: es prioritza el predicció; si no n'hi ha, es mostra el real.
- En desplegar un partit, es veu la comparativa “Pred → Real” per a: gols, xuts, córners i grogues (arrodonits).
- Probabilitats 1X2 mostrades en %.
- Botó “Recalcular jornada”: recalcula només els partits no jugats i desa la predicció (sense cron ni pulls constants).
- Encert de la jornada: es mostra una badge amb correctes/finalitzats (percentatge%), on només compten partits finalitzats.



Figura 13. Selector de jornada.



Figura 14. Detall desplegat: comparativa Predicció – Real.

### 6.4.3 “Històric”

- Taula de prediccions enregistrades, amb filtres per equip i paginació.
- Cada fila mostra predicció i resultat real (si existeix). En desplegar:
  - Comparativa Pred → Real per estadístiques (arrodonides).
  - Probabilitats 1X2 en %.
- Resum d’encert a la capçalera: només partits finalitzats (evita biaixos).
- Botó “Actualitzar resultats”: recupera i persisteix estadístiques reals que faltin (execució manual per estalviar crides).



Figura 15. Resum d’encerts en general i vista general.

▼ Oviedo vs Real Madrid 24/8/2025	1 - 2	0 - 3	Pred: Real Madrid Real: Real Madrid	58%	Correcto
▼ Barcelona vs Real Madrid 30/8/2025	2 - 1	-	Pred: Barcelona Real: Real Madrid	48%	Pendiente
▲ Real Madrid vs Mallorca 30/8/2025	2 - 1	2 - 1	Pred: Real Madrid Real: Real Madrid	65%	Correcto

Real Madrid	Comparativa (Pred → Real)	Mallorca
2 → 2	Goles	1 → 1
16 → 17	Tiros	8 → 9
6 → 4	Córners	3 → 5
2 → 2	Amarillas	3 → 0

Prob. Local: 65% · Empate: 22% · Visitante: 12%

Figura 16. Detall d’un partit de l’històric (Pred → Real).

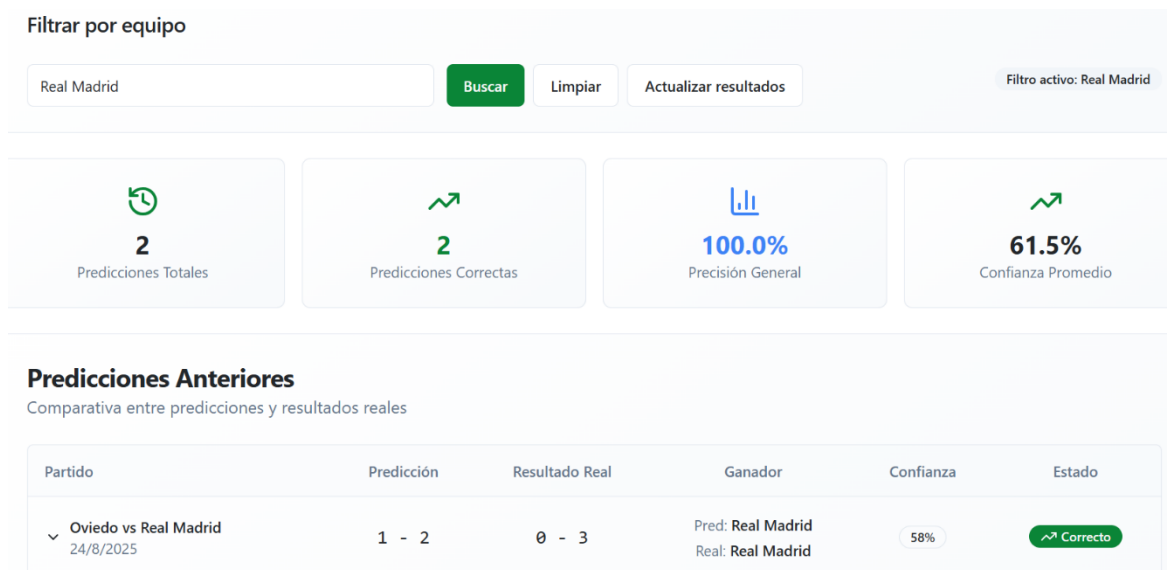


Figura 17. Històric amb filtre per equip.

#### 6.4.4 Restriccions i decisions clau

- Sense sincronització automàtica: no hi ha processos recurrents que facin crides al proveïdor de dades; l'usuari controla quan s'actualitza (botons Recalculer jornada i Actualitzar resultats). Es fa així ja que sinó resulta en moltes trucades a la API i s'acaben les *requests*.
- *Snapshot* final: en detectar un partit finalitzat, es guarda una última predicció i totes les estadístiques reals per a comparatives fidels.
- Validacions estrictes al formulari: equips diferents i camps requerits.
- Arrodoniment a UI: totes les mètriques numèriques visibles (predites i reals) es mostren arrodonides per claredat.
- Mètriques d'encert netes: l'encert (tant a Històric com per jornada) només té en compte partits finalitzats.

## 7. Avaluació

L'avaluació del sistema desenvolupat és un pas fonamental per comprovar si els requisits funcionals i no funcionals definits inicialment es compleixen en la pràctica. Per avaluar-ho, s'han combinat proves clàssiques de validació del programari (*backend* i *frontend*) amb una avaluació retrospectiva del model sobre dades reals de competició.

### 7.1 Disseny dels casos de prova

En primer lloc, es van definir els casos de prova a partir dels requisits funcionals. Per al requisit de predicció puntual d'un partit, es va establir que el sistema havia de generar una predicció a partir de dos equips i una data i retornar les probabilitats d'1X2, juntament amb mètriques complementàries com els gols esperats, els xuts, els córners o les targetes grogues. Es van contemplar tant escenaris positius (partits reals existents a la base de dades) com negatius (dates inexistentes, equips que no juguen entre si) per verificar que el sistema respon amb errors controlats i missatges clars. Igualment, per al requisit de predicció per jornada, es van dissenyar proves per validar la capacitat de processar una col·lecció de partits de manera consecutiva amb temps de resposta raonables per a l'usuari final. El mòdul d'històric va ser objecte de proves específiques per comprovar l'enregistrament de prediccions i la posterior consulta i comparació amb els resultats reals. Finalment, la sincronització de resultats reals amb l'API externa es va provar tant en jornades completes com en situacions de dades no disponibles, assegurant la integritat de la base de dades i l'absència de duplicats.

### 7.2 Protocol d'avaluació retrospectiva sobre lliga

Per quantificar el rendiment del model en un escenari realista, es va implementar un protocol de validació temporal. Concretament, el model es va entrenar amb dades fins a la jornada 28 de la temporada passada (inclosa i cap enrere) i es va avaluar sobre les 10 últimes jornades de la mateixa competició. Aquest tall temporal reproduïx un ús real: el sistema "no veu" res del tram final fins al moment de predir-lo. Per a l'avaluació, es va desenvolupar un script específic en Python que creua, per a cada partit, les prediccions generades (probabilitats 1X2 i medians de mètriques) amb els partits i estadístiques reals obtinguts de l'API-Football. El procediment normalitza noms d'equips i dates, fa *matching* per jornada i data, recupera resultats i estadístiques d'ambdós conjunts i calcula, per a cada partit, l'encert d'1X2 i els errors agregats entre valors previstos i reals (gols, xuts, córners i grogues). A més, genera un resum global i un desglossament per equip per analitzar patrons d'encert i possibles biaixos del model.

### 7.3 Execució i resultats quantitius

L'avaluació va abastar 100 partits del tram final de la temporada, amb tots els partits aparellats correctament (0 casos perduts). El sistema va encertar 50 resultats d'1X2, és a dir, una exactitud del 50% en un problema de tres classes (1, X, 2). Des del punt de vista de mètriques acumulades, el model va infraestimar els gols totals del període: es van predir 200,55 gols davant de 263 reals, una diferència de -62,45 gols que equival aproximadament a -0,62 gols per partit. En la mateixa línia, es van infraestimar els xuts (-242,41 en total; -2,40 per partit) i els córners (-124,22 en total; -1,23 per partit). En canvi, es van sobreestimar les targetes grogues (+90,57 en total; +0,90 per partit). A nivell d'equips, es van observar encerts elevats en alguns conjunts del capdavant de la classificació: per

exemple, Real Madrid i Barcelona van assolir una exactitud del 80 % (8 encerts en 10 partits), mentre que Atlético de Madrid va assolir el 60 %. En altres casos, especialment en equips situats a la part baixa de la classificació, l'encert va ser baix o nul (p. ex., Getafe, Las Palmas o Valladolid amb 0/10), tot i que cal interpretar aquestes xifres amb prudència atès el mostreig reduït (deu partits per equip) i l'especificitat del període avaluat.

#### 7.4 Discussió i aprenentatges

Els resultats mostren que el sistema compleix satisfactòriament els requisits funcionals i que, en termes de rendiment esportiu, obté una exactitud al 50 % en un context complex i imprevist. Aquest percentatge és clarament superior al que s'esperaria d'una elecció aleatòria (~33 %) i, alhora, posa en relleu espais de millora. L'infraestimació de gols, xuts i córners suggereix una descalibració del nivell ofensiu mitjà al tram final de la temporada, possiblement condicionada per factors contextuals (rotacions, estat de forma, pressió competitiva, partits decisius) que el model actual no incorpora explícitament. En paral·lel, la sobreestimació de grogues pot indicar un excés de pes en històrics disciplinaris sense ajustar-los a l'estil arbitral concret o a la dinàmica dels partits de final de curs. A nivell d'equip, les diferències entre prediccions i reals en alguns grans (p. ex., subestimació de gols de Barcelona i Atlético) apunten que cal refinar la precisió ofensiva i revisar el calibratge per lliga i període (inici vs final de temporada).

El pipeline d'avaluació ha estat robust (100/100 matchings correctes), i l'arquitectura de proves amb unitàries (Pytest), proves d'integració sobre PostgreSQL i tests de components en el frontend ha garantit la correcció funcional i una experiència d'usuari consistent. Tanmateix, en jornades amb més de deu partits el temps de resposta. En accessibilitat, la interfície es va mostrar usable i funcional.

Finalment, i això és important per entendre el valor d'aquest projecte, em declaro satisfet amb l'entorn del 50 % d'encert assolit en aquest tram final. El futbol és un esport i, per definició, és imprevisible: els resultats no es basen només en dades i números, sinó en persones, jugadors, entrenadors, afició, arbitratge, context emocional i tàctic, i en una suma de detalls que fan que un partit s'escapi de qualsevol model. Aquesta incertesa és, precisament, el que fa bonic el futbol. L'objectiu del treball no és eliminar-la, sinó entendre-la una mica millor, oferint probabilitats raonades i transparents que ajudin a posar context a allò que passa al camp.

## 8. Costos, marc legal i implicacions ètiques

### 8.1 Avaluació de costos

- Cost de desenvolupament (una sola vegada):  
Seguint la indicació del tutor, tarifa teòrica: 50 €/h.  
El cost es calcula com hores totals invertides × 50 €/h:  
120 h → 6.000 €
- Cost d'operació/manteniment (mensual)  
Estimació orientativa amb la configuració descrita:
  - Infraestructura
    - Cloud SQL : 115,62 €/mes
    - Cloud Run: 18,91 €/mes
    - Proveïdor de dades esportives (API-Football): pla gratuït o d'entrada; si es passés a pla pro, afegir 16,22 €/mes (el que s'ha usat per desenvolupar el treball) i si es vol una experiència més òptima afegir 33,29 €/mes (variable).
    - Manteniment humà (actualitzacions, vigilància bàsica, rotació de secrets, petites correccions): 2–4 h/mes × 50 € = 100–200 €/mes.
- Total mensual orientatiu  
Amb la configuració actual (Cloud SQL 115,62 €/mes i Cloud Run 18,91 €/mes), la infraestructura ascendeix a 134,53 €/mes. En funció del pla d'API i del manteniment humà (2–4 h/mes × 50 € = 100–200 €/mes), el cost total mensual queda:
  - API gratuïta: 234,53–334,53 €/mes
  - API Pro (16,22 €/mes): 250,75–350,75 €/mes
  - API Òptima (33,29 €/mes): 267,82–367,82 €/mesAquestes xifres són estimatives i poden variar segons l'ús i el volum de dades.

### 8.2 Legislació i protecció de dades

- **RGPD (Reglament General de Protecció de Dades).**

El lloc web no recull dades de caràcter personal d'usuaris finals ni disposa de registre/login; tampoc s'instal·len *cookies* de seguiment. Per tant, no es tracten dades personals i no cal base jurídica, política de privacitat ni mecanisme de consentiment de *cookies* per a aquesta versió del projecte. Si en el futur s'afegeixen funcionalitats amb compte d'usuari, analítica o *cookies* no tècniques, s'haurà d'incorporar una política de privacitat, espai de *cookies* (amb consentiment explícit) i informació RGPD sobre finalitats, base jurídica, terminis de conservació i exercici de drets.

- **LSSI-CE (serveis de la societat de la informació).**

La web no ofereix béns ni serveis de caràcter comercial ni incorpora cap via de contractació; per tant, no s'aplica l'obligació d'identificació del prestador prevista per a webs amb finalitat econòmica. S'indica, en qualsevol cas, l'autoria del projecte

al peu de pàgina. (Si en el futur es monetitza el servei, caldrà incloure avís legal amb dades del responsable.)

- **Propietat intel·lectual (LPI) i llicències.**

L'autor del codi és Joan Garcia Blas. Tots els drets d'explotació estan reservats; no s'atorga cap llicència general al públic. Queda prohibida la reproducció, distribució, transformació o comunicació pública del codi, documentació i models/pesos resultant sense l'autorització prèvia i per escrit de l'autor.

Les dependències de tercers (p. ex., PyTorch, React, etc.) es regeixen per les seves pròpies llicències i no s'estenen drets sobre elles. Les dades emprades i/o els conjunts de dades derivats resten subjectes als termes dels seus titulars.

Per a qualsevol ús diferent de la mera avaluació acadèmica d'aquest TFG, cal el permís exprés de l'autor: joangb03@gmail.com

### **8.3 Implicacions ètiques, d'igualtat i mediambientals**

Aquest projecte no té implicacions significatives d'ètica o d'igualtat: es treballa amb dades públiques/estadístiques de partits i es mostren prediccions de resultats, sense perfils personals ni decisions automatitzades sobre individus. Com a bona pràctica, en futures versions la web inclourà un avís de responsabilitat aclarint que es tracta d'una eina acadèmica/informativa i no promou l'ús en apostes ni garanteix cap resultat econòmic.

L'impacte ambiental és reduït: l'entrenament s'ha fet a escala acadèmica i la inferència és lleugera. Es recomana limitar el reentrenament innecessari i monitorar l'ús de recursos per minimitzar consum i emissions.

## 9. Futures aplicacions i millores

Aquest projecte estableix una base funcional per a la predicció de resultats de futbol amb *Temporal Fusion Transformers* (TFT) i una web de consulta. A partir d'aquí, es plantegen les millores i aplicacions futures següents, agrupades per àrees.

### 9.1 Evolució funcional del producte

Un primer pas és la incorporació d'un sistema d'usuaris amb alta i autenticació (idealment amb 2FA) i un espai personal on cada usuari pugui veure l'històric de prediccions que ha sol·licitat, configurar preferències (equips, competicions, alertes) i gestionar subscripcions. Aquesta funcionalitat permetria també oferir explicacions de cada predicció (per què el model ha arribat a aquesta probabilitat), de manera que l'usuari entengui els factors que més han pesat en cada cas. En paral·lel, es planteja una experiència en temps real per a partits en joc, alimentada per dades d'esdeveniments i estadístiques en temps real, amb actualitzacions incrementals de probabilitat i indicadors de confiança que s'ajustin al flux del partit.

### 9.2 Cobertura esportiva

A curt i mitjà termini, el servei s'hauria d'estendre a totes les competicions de futbol disponibles, incloent lligues menors i copes nacionals, tot garantint processos de normalització i qualitat de dades coherents. La mateixa arquitectura és extrapolable a altres esports (bàsquet, tennis, hoquei, entre d'altres), adaptant el conjunt de característiques, els calendaris i les mètriques específiques de cada disciplina. Aquesta extensió es pot desplegar sota el mateix domini amb una interfície multi-esport, o bé com a projectes webs independents amb marques i rutes pròpies compartint la mateixa base de serveis.

### 9.3 Integració de context, quotes i decisió informada

Una línia clau és enriquir el context de cada predicció amb informació rellevant prèvia al partit, com lesions i sancions, convocatòries i alineacions probables, càrrega de minuts, designació arbitral, meteorologia i importància competitiva del duel. Igualment, és possible integrar quotes de cases d'apostes de manera informativa per calcular indicadors com l'esperança de valor (comparant la probabilitat calibrada del model amb la quota disponible) i oferir senyals de "valor potencial". Aquesta integració, si s'implementa, s'acompanyarà d'avisos explícits de joc responsable, filtres d'edat i opcions per amagar o desactivar la vista de quotes. L'objectiu no és incentivar l'aposta, sinó donar context perquè l'usuari, si ja consulta quotes externes, disposi d'una estimació probabilística pròpia, transparent i degudament matisada.

### 9.4 Model de negoci, plans i llicències

Amb el sistema d'usuaris en marxa, es podrà oferir un escalat de plans: una modalitat gratuïta amb un nombre acotat de prediccions i competicions, una modalitat Pro amb més volum, explicacions avançades i alertes, i una modalitat Business/Enterprise amb cobertures il·limitades, API i acords de servei. En paral·lel, es definiran condicions d'ús i, si s'escau, un EULA o contractes d'API amb límits de crides i clàusules *anti-scraping*. Si l'autor manté tots els drets d'explotació, l'obertura a tercers s'articularà sempre sota permís exprés i condicions específiques; alternativament, es podrien publicar components sota llicències més permissives.

### **9.5 Marc legal, privacitat i ètica en la nova fase**

La introducció de comptes d'usuari comporta tractament de dades personals i, per tant, l'aplicació plena del RGPD: definició de finalitats i base jurídica, principi de minimització, transparència mitjançant política de privacitat, mecanismes per a l'exercici de drets, i xifratge en trànsit i en repòs. Si s'afegeix analítica o *cookies* no tècniques, caldrà un *banner* de consentiment granular. Si s'ofereixen subscripcions o serveis, la LSSI-CE exigirà identificació del responsable, avís legal i condicions de contractació. En cas d'integrar quotes, es revisaran les restriccions d'edat, les obligacions de joc responsable i qualsevol requisit de geolocalització. Èticament, es reforçarà la no discriminació algorísmica i la transparència, amb advertiments clars sobre les limitacions del model i l'absència de garanties d'èxit econòmic

## 10. Conclusions

El present Treball de Fi de Grau ha tingut com a objectiu el desenvolupament d'un sistema de predicció de resultats esportius basat en tècniques d'aprenentatge automàtic i servit a través d'una aplicació web. Al llarg del projecte s'han recorregut totes les fases habituals d'un cicle de vida de programari: des de la definició dels requisits i el disseny de l'arquitectura, fins a la implementació, les proves i l'avaluació.

Els resultats obtinguts són satisfactoris dins la naturalesa del problema. En l'avaluació retrospectiva sobre les 10 últimes jornades de la lliga passada (100 partits), el sistema ha assolit una exactitud del 50% en la predicció 1X2 mantenint temps de resposta raonables i integrant un històric consultable i sincronitzat amb dades reals. L'anàlisi d'errors ha evidenciat patrons concrets (tendència a infraestimar mètriques ofensives en aquest tram i sobreestimar grogues) que orienten els següents passos de calibratge i implementació.

Des d'una perspectiva conceptual, em declaro satisfet amb un entorn del 50% d'encert assolit en aquest tram avaluat. El futbol és un esport i, per definició, és imprevisible: els resultats no depenen únicament de dades i números, sinó de persones, jugadors, entrenadors, afició, de decisions arbitrals, del context emocional i tàctic i de factors difícils de mesurar. Precisament, aquesta incertesa és el que fa bonic el futbol. El valor del projecte rau a aportar probabilitats transparents i contextualitzades que ajudin a entendre millor el que pot passar, no pas a substituir la riquesa i l'atzar propis del joc.

Des d'un punt de vista personal i formatiu, el projecte ha estat una experiència enriquidora i d'alt valor afegit. En primer lloc, ha permès posar en pràctica coneixements adquirits al llarg del grau en àmbits com la programació, les bases de dades i les arquitectures web. També ha suposat l'oportunitat de treballar amb tecnologies actuals com FastAPI, React o PostgreSQL, i d'explorar un model avançat d'aprenentatge automàtic com el *Temporal Fusion Transformer*.

Mirant endavant, queden definides línies de continuïtat concretes: millorar el calibratge i el disseny de variables (lesions, sancions, àrbitre, meteorologia, importància del partit), habilitar explicacions de les prediccions, explorar temps real, ampliar la cobertura a totes les competicions i arribar a altres esports. Sobre el producte, és viable un model de plans (gratuït/Pro/Enterprise) amb límits de prediccions i competicions, alertes i API sota condicions i llicències definides. Aquest full de ruta, alineat amb els costos estimats i el marc de compliment, consolida el camí perquè el sistema evolucioni d'un prototip acadèmic a una solució robusta i escalable.

Finalment, cal destacar que aquest projecte ha estat una oportunitat per combinar dues àrees d'interès personal: l'anàlisi de dades i l'àmbit esportiu. Això ha fet que el treball resultés no només un repte acadèmic, sinó també una experiència motivadora i útil per al futur professional, ja que integra coneixements tècnics amb una aplicació pràctica tangible.

En conclusió, el TFG ha permès demostrar la capacitat d'afrontar un projecte de programari complex de principi a fi, aportant una visió completa i consolidada del procés de desenvolupament. Alhora, ha estat una experiència que consolida l'aprenentatge assolit

durant la titulació i que prepara per assumir nous reptes en l'àmbit professional de les tecnologies de la informació i la intel·ligència artificial.

## 11. Referències

- [1] FIFA. (2021). The football landscape [The Vision Report 2020–2023]. Retrieved August 14, 2025, from <https://publications.fifa.com/en/vision-report-2021/the-football-landscape/>
- [2] European Gaming and Betting Association. (2022). European Online Gambling – Key Figures 2022 Edition [PDF]. Retrieved August 14, 2025, from <https://www.egba.eu/uploads/2023/02/230203-European-Online-Gambling-Key-Figures-2022.pdf>
- [3] M. J. Dixon and S. G. Coles, “Modelling Association Football Scores and Inefficiencies in the Football Betting Market,” *J R Stat Soc Ser C Appl Stat*, vol. 46, no. 2, pp. 265–280, Jun. 1997, doi: 10.1111/1467-9876.00065.
- [4] G. Baio and M. Blangiardo, “Bayesian hierarchical model for the prediction of football results,” *J Appl Stat*, vol. 37, no. 2, pp. 253–264, Feb. 2010, doi: 10.1080/02664760802684177.
- [5] D. Karlis and I. Ntzoufras, “Analysis of sports data by using bivariate Poisson models,” *Journal of the Royal Statistical Society: Series D (The Statistician)*, vol. 52, no. 3, pp. 381–393, Oct. 2003, doi: 10.1111/1467-9884.00366.
- [6] D. Karlis and I. Ntzoufras, “Bayesian modelling of football outcomes: using the Skellam’s distribution for the goal difference,” *IMA Journal of Management Mathematics*, vol. 20, no. 2, pp. 133–145, Aug. 2008, doi: 10.1093/imaman/dpn026.
- [7] L. M. Hvattum and H. Arntzen, “Using ELO ratings for match result prediction in association football,” *Int J Forecast*, vol. 26, no. 3, pp. 460–470, Jul. 2010, doi: 10.1016/j.ijforecast.2009.10.002.
- [8] G. Capobianco, U. Di Giacomo, F. Mercaldo, V. Nardone, and A. Santone, “Can Machine Learning Predict Soccer Match Results?,” in *Proceedings of the 11th International Conference on Agents and Artificial Intelligence*, SCITEPRESS - Science and Technology Publications, 2019, pp. 458–465. doi: 10.5220/0007307504580465.
- [9] Y. , & S. T. Ren, “Predicting football match outcomes with explainable machine learning and the Kelly Index,” 2022.
- [10] J. Mead, A. O’Hare, and P. McMenemy, “Expected goals in football: Improving model performance and demonstrating value,” *PLoS One*, vol. 18, no. 4, p. e0282295, Apr. 2023, doi: 10.1371/journal.pone.0282295.
- [11] I. Bandara, S. Shelyag, S. Rajasegarar, D. Dwyer, E. Kim, and M. Angelova, “Predicting goal probabilities with improved xG models using event sequences in association football,” *PLoS One*, vol. 19, no. 10, p. e0312278, Oct. 2024, doi: 10.1371/journal.pone.0312278.

- [12] B. Lim, S. Ö. Arık, N. Loeff, and T. Pfister, “Temporal Fusion Transformers for interpretable multi-horizon time series forecasting,” *Int J Forecast*, vol. 37, no. 4, pp. 1748–1764, Oct. 2021, doi: 10.1016/j.ijforecast.2021.03.012.
- [13] PTorch, “Demand forecasting with the Temporal Fusion Transformer. PyTorch.”
- [14] Y. Bengio, P. Simard, and P. Frasconi, “Learning long-term dependencies with gradient descent is difficult,” *IEEE Trans Neural Netw*, vol. 5, no. 2, pp. 157–166, Mar. 1994, doi: 10.1109/72.279181.
- [15] S. Hochreiter and J. Schmidhuber, “Long Short-Term Memory,” *Neural Comput*, vol. 9, no. 8, pp. 1735–1780, Nov. 1997, doi: 10.1162/neco.1997.9.8.1735.
- [16] A. , S. N. , P. N. , U. J. , J. L. , G. A. N. , K. Ł. , & P. I. Vaswani, “Attention is all you need. Advances in Neural Information Processing Systems,” 2017.
- [17] R. Koenker and G. Bassett, “Regression Quantiles,” *Econometrica*, vol. 46, no. 1, p. 33, Jan. 1978, doi: 10.2307/1913643.
- [18] J. M. Oliveira and P. Ramos, “Evaluating the Effectiveness of Time Series Transformers for Demand Forecasting in Retail,” *Mathematics*, vol. 12, no. 17, p. 2728, Aug. 2024, doi: 10.3390/math12172728.
- [19] E. , H. F. , & H. K. Giacomazzi, “Short-term electricity load forecasting using the Temporal Fusion Transformer: Effect of grid hierarchies and data sources ,” 2023.
- [20] L. Kapral *et al.*, “Development and external validation of temporal fusion transformer models for continuous intraoperative blood pressure forecasting,” *EClinicalMedicine*, vol. 75, p. 102797, Sep. 2024, doi: 10.1016/j.eclinm.2024.102797.

## 12. Annexos

### 12.1 Requeriments i requisits

El sistema consta d'un servei backend (API d'inferència i consulta), una base de dades PostgreSQL i un frontend web. Per a desenvolupament local cal tenir Python 3.12, Node.js LTS, un servidor PostgreSQL accessible i, si es vol empaquetar, Docker. Per a producció es recomana executar el backend en un servei gestionat tipus Cloud Run i la base de dades a Cloud SQL, amb un compte de servei que tingui permisos d'accés a la instància. També cal una clau vàlida del proveïdor de dades de futbol (API-Football o equivalent) i ser conscient de la quota de crides.

Hi ha dos fitxers al projecte: requirements.txt i requirements-api.txt on podem observar els requisits necessaris. Per a instal·lar es pot usar la següent comanda:

```
pip install -r requirements-api.txt
```

### 12.2 Variables d'entorn

La configuració es fa íntegrament per variables d'entorn. Les imprescindibles són:

- APIFOOTBALL\_KEY: clau del proveïdor de dades de futbol.
- DATABASE\_PREDICTIONS\_URL: cadena de connexió a PostgreSQL (format SQLAlchemy), per exemple:  
postgresql+psycopg2://usuari:contrasenya@host:5432/nom\_bd

### 12.3 Instal·lació i arrancada en local

#### 1. Variables d'entorn

En un entorn de desenvolupament, prepara la base de dades (crea l'usuari, la base de dades i assigna privilegis) i exposa DATABASE\_PREDICTIONS\_URL i APIFOOTBALL\_KEY al teu entorn:

```
# Connexió a Postgres (URL SQLAlchemy)
$env:DATABASE_PREDICTIONS_URL =
postgresql+psycopg2://football:football@localhost:5432/football_predictions
# Clau del proveïdor de dades (API-Football o equivalent)
$env:APIFOOTBALL_KEY=POSA_AQUI_LA_TEVA_CLAU
```

#### 2. Entorn Python i dependències:

```
python -m venv .venv
# Linux/Mac
source .venv/bin/activate
```

```
# Windows (PowerShell)
# .venv\Scripts\Activate.ps1

pip install -r requirements.txt
pip install -r requirements-api.txt
```

### 3. Dataset i entrenament del model

```
python -m scripts.build_dataset --config configs/default.yam
python train.py --config configs/default.yaml
```

### 4. Arrancar el backend

```
uvicorn app.main:app --reload --port 800010
```

### 5. Arrancar el frontend

```
npm install
npm run dev
```

### 6. Prediccions ràpides amb el terminal:

```
python predictor.py --config configs/default.yaml --home "Levante" --away
"Barcelona" --date 2025-08-23T21:30:00
```

## 12.4 Funcionament API

L'API ofereix tres fluxos principals: predicció puntual, consulta de jornada i històric. A més, hi ha dos punts per refrescar dades de forma manual (sense processos automàtics).

### Predicció puntual — POST /api/predict

Entrada mínima: equip local, equip visitant i data (YYYY-MM-DD). El backend valida que no siguin el mateix equip (es fa una normalització per evitar falsos positius per accents o majúscules). La resposta inclou marcador previst, probabilitats 1X2 i medianes d'estadístiques. Si el partit ja és finalitzat i el partit es pot resoldre, s'afegeixen també marcador i estadístiques reals, i es persisteixen al mateix registre.

### Consulta de jornada — GET /api/round/predictions

Retorna, per a una jornada, un bloc predicted (marcador previst, medians i probabilitats 1X2) i un bloc actual (marcador real i estadístiques) si el partit ha finalitzat. Per controlar costos, el backend no recalcula per defecte; el recalcul (només per a partits no jugats) es fa quan l'usuari prem el botó corresponent al frontend, que invoca el mateix endpoint amb un indicador de “recalcular”.

### Històric i encert — GET /api/history

Llista de prediccions guardades amb els reals associats (si n'hi ha). El resum d'encert només compta partits finalitzats. Des d'aquesta vista, l'usuari pot demanar explícitament una actualització de resultats.

### Actualitzacions manuals

POST /api/results/update: repassa prediccions recents i, quan un partit és final, completa marcador i estadístiques reals.

POST /api/rounds/update: refresca la caché de la jornada visible (predicció prèvia si falta i snapshot final si ha finalitzat).

Aquests dos punts d'entrada són els que s'activen quan l'usuari prem els botons “Actualitzar resultats” o “Recalcular jornada” al frontend

## 12.5 Diccionari dels 20 d'equips de LaLiga

Equips disponibles per a usar per a les prediccions:

- Alaves
- Athletic Club
- Atletico Madrid
- Barcelona
- Celta Vigo
- Elche
- Espanyol
- Getafe
- Girona
- Levant
- Mallorca
- Osasuna
- Oviedo
- Rayo Vallecano
- Real Betis
- Real Madrid
- Real Sociedad
- Sevilla
- Valencia
- Villarreal

### **12.6 Link a la pàgina web**

<https://predictor-api-289468144846.europe-southwest1.run.app>