



Escola de Camins
Escola Tècnica Superior d'Enginyeria de Camins, Canals i Ports
UPC BARCELONATECH

Estudi de la variabilitat de les aigües costaneres de Barcelona des d'una embarcació sostenible i durant episodis de pluja intensa: el Patí Científic

Treball realitzat per:

Elisabet Verger Miralles

Dirigit per:

Manuel Espino Infantes

Nina Hoareau

Grau en:

Ciències i Tecnologies del Mar

Barcelona, 27 de juny de 2022

Departament d'Enginyeria Civil i Ambiental

TREBALL FINAL DE GRAU

Agraïments

Gràcies a tot l'equip del Patí Científic per deixar-me formar part d'un projecte tan especial i acollir-me des del primer moment. A la Nina Hoareau i al Manuel Espino per acceptar ser els meus tutors i aconsellar-me sempre que ho he necessitat. A l'Oriol Carrasco amb qui he sortit a navegar la majoria dels dies i també a l'Ignasi Vallès i al Raul Bardaji.

Agrair també el finançament de l'Ajuntament de Barcelona a través dels projectes PATÍ CIENTIFIC (Pla Barcelona Ciència 2019, ref. 19SO1645-006, 19SO1649-006, 19SO1651-006) i AULAMAR (Fundació Bit Habitat, ref. ID253).

Resum

Les platges de la ciutat de Barcelona són un clar exemple de medi marí litoral degradat degut a les conseqüències d'una activitat antropogènica insostenible i cada any és testimoni de diversos episodis de tempesta que introdueixen aigües d'escorrentia altament contaminades a l'entorn costaner. A més, ens trobem en una situació d'escassetat de dades fiables en el litoral costaner degut a la limitada resolució espaciotemporal que tenen els satèl·lits prop de la costa i a la dificultat tan tècnica com econòmica per establir plataformes oceanogràfiques convencionals.

En aquest context, el projecte de ciència ciutadana *Patí Científic* (Ortigosa *et al.*, 2022) sorgeix com una alternativa per suplir aquesta mancança de mostreig costaner, involucrant els ciutadans en aquesta tasca. Es tracta d'un projecte innovador que té com a objectiu principal la monitorització de les aigües costaneres mitjançant l'adaptació i l'equipament amb instrumentació de baix cost d'un patí de vela, un catamarà individual sense timó molt utilitzat a Catalunya, convertint-lo en un patí científic.

El present estudi consisteix en determinar la metodologia i la instrumentació òptimes per dotar al patí i assolir l'objectiu d'aconseguir unes dades consistents que permetin monitoritzar la variabilitat espaciotemporal de la temperatura i la salinitat (tant en profunditat com en trams superficials), en particular en relació amb els episodis de pluges intenses durant la primavera del 2022. La zona d'estudi seran les aigües properes a la concorreguda platja del Somorrostro, les quals es veuen afectades per les descàrregues d'aigua d'un dels sobreixidors de la ciutat, incloent-hi sis estacions de referència.

Després de nombroses proves d'instrumentació, el patí científic ha estat equipat amb un perfilador de temperatura de baix cost i un CTD-CastAway utilitzat com a termosalinògraf continu al llarg del recorregut de navegació. Els primers resultats mostren que les altes precipitacions i els vents moderats permeten la formació d'una extensa ploma d'aigua dolça. A més, el patí compleix l'objectiu de detectar variacions espaciotemporals, incloent una anomalia en les temperatures degut a l'onada de calor a mitjans del mes de maig i una baixada en la salinitat i temperatura degut a episodis de pluja a finals d'aquest mes.

Paraules clau: vaixell de vela científic; sensors de baix cost; ciència ciutadana; plomes costaneres; mostreig termohalí; Patí Científic

Abstract

The shelf waters near the city of Barcelona are a good example of a degraded coastal marine environment as a result of unsustainable anthropogenic activity, which includes several storm episodes per year that bring polluted runoff waters to the coastal environment. Moreover, there is a shortage of reliable data in the near coastal zones because of the limited spatiotemporal resolution of remote-sensing satellites and the technical and economic difficulty of establishing conventional oceanographic platforms.

In this context, the citizen-science project *Patí Científic* (Ortigosa *et al.*, 2022) arises as an alternative to supply this lack of coastal sampling, engaging citizen in this endeavor. This is an innovative project whose main objective is the monitoring of coastal waters through the adaptation and equipment with low-cost instrumentation of a patí vela, which is a widely used individual rudderless catamaran in Catalonia, turning it into a scientific patí.

This study consists of determining the optimal methodology and instrumentation to monitor the spatiotemporal variability of temperature and salinity, in particular related to heavy rain episodes during spring 2022. The approach includes sampling the area in front of Somorrostro's beach where spillway discharges appear, including six reference stations.

After many instrumentation tests, the Patí Científic has been equipped with a low-cost temperature-depth profiler and a CTD-CastAway used as a continuous thermosalinograph along the sailing pathway. Our first results show that high precipitation and moderate winds allow the formation of an extensive plume of freshwaters. In addition, the boat meets the objective of detecting spatiotemporal variations, including an anomaly in temperatures due to the heat wave in mid-May 2022 and a drop in salinity and temperature due to heavy rainfall events at the end of the month.

Keywords: scientific sailing boat; low-cost sensors; citizen science; coastal plumes; thermohaline sampling; Patí Científic

Taula de continguts

| | |
|---|-----------|
| AGRAÏMENTS | 1 |
| RESUM | 2 |
| ABSTRACT | 3 |
| TAULA DE CONTINGUTS | 4 |
| LLISTAT DE FIGURES | 6 |
| LLISTAT DE TAULES | 9 |
| 1- INTRODUCCIÓ | 1 |
| 2- ESTAT DE L'ART | 2 |
| 2.1- ZONA D'ESTUDI | 2 |
| 2.2- CAMPANYES PUDEM | 4 |
| 2.3- PROJECTE PATÍ CIENTÍFIC | 6 |
| 2.4- CORRENTS | 7 |
| 2.5- PLOMES | 8 |
| 3- OBJECTIUS | 9 |
| 4- MATERIALS | 10 |
| 4.1- PATÍ VELA | 10 |
| 4.2- PATÍ CIENTÍFIC: INSTRUMENTACIÓ | 11 |
| 4.2.1- TERMOSALINÒGRAF (TSG) | 11 |
| 4.2.2- PERFILADOR DE TEMPERATURA I PRESSIÓ (TD) | 13 |
| 4.2.3- PERFILADOR CTD CASTAWAY | 13 |
| 5- METODOLOGIA | 15 |
| 5.1- ESTACIONS DE MESURA | 15 |
| 5.2- CAMPANYES | 16 |
| 5.2.1- PERÍODE D'ESTUDI | 18 |
| 5.2.2- ESTUDI DE FORMACIÓ DE PLOMES | 23 |
| 5.3- TIPOLOGIA DE LES DADES | 27 |
| 5.3.1- DADES DEL PERFILADOR TD | 27 |
| 5.3.2- DADES DEL PERFILADOR CTD CASTAWAY | 27 |
| 5.3.4- DADES DEL PERFILADOR CTD SBE (PUDEM) | 28 |
| 5.4- VALIDACIÓ I PROCESSAT DE DADES | 28 |

| | |
|--|------------------|
| 5.4.1- VALIDACIÓ DE LES DADES DEL PERFILADOR CTD CASTAWAY | 28 |
| 5.4.2- VALIDACIÓ DE LES DADES DEL PERFILADOR TD | 33 |
| 5.4.3- COMPARACIÓ DADES PROCESSADES I NO PROCESSADES: CAS CTD | 33 |
| 5.4.4- PROCESSAT DE LES DADES DEL PERFILADOR TD | 34 |
| 5.4.5- OBTENCIÓ DELS PERFILS DE REFERÈNCIA DE LES CAMPANYES PUDEM | 36 |
| 5.4.6- PROCESSAT DE DADES SUPERFICIALS DEL PERFILADOR CTD CASTAWAY | 39 |
| <u>6- RESULTATS</u> | <u>45</u> |
| 6.1- ANÀLISIS DE LA TEMPERATURA I LA SALINITAT EN FUNCIÓ DE LA PROFUNDITAT | 45 |
| 6.1- ANÀLISIS DE LA TEMPERATURA I SALINITAT DE LES CAPES MÉS SUPERFICIALS | 48 |
| <u>7- DISCUSSIÓ</u> | <u>50</u> |
| <u>8- CONCLUSIONS</u> | <u>51</u> |
| 8.1- PERSPECTIVES FUTURES..... | 52 |
| <u>BIBLIOGRAFIA I REFERÈNCIES</u> | <u>53</u> |
| <u>ANNEX A1. PROTOCOL DE CAMPANYA DEL PATÍ CIENTÍFIC.....</u> | <u>57</u> |
| <u>ANNEX A2. CONVERSIÓ A SALINITAT.....</u> | <u>61</u> |
| <u>ANNEX A3. CTD CASTAWAY.....</u> | <u>63</u> |
| A3.1. TIPOLOGIA DE LES DADES DISPONIBLES | 64 |
| <u>ANNEX A4. DISPONIBILITAT DE LES DADES I ELS PROGRAMES UTILITZATS</u> | <u>66</u> |
| A4.1. ACCÉS A LES DE DADES | 66 |
| A4.2. PROGRAMES (SCRIPTS) UTILITZATS | 66 |

Llistat de Figures

| | |
|---|----|
| Figura 1. Imatge de la zona d'estudi obtinguda amb Google Maps i editada amb les localitzacions d'interès. | 3 |
| Figura 2. Circulació en el Mar Mediterrani Occidental. Modificat després de Millot (1999) i Zodiatis i Garparini (1996). L'aigua mediterrània que desemboca en l'Oceà Atlàntic és substituïda per l'agua atlàntica que resideix en els 200 m superiors de la columna d'aigua. A mesura que es desplaça cap a l'est, es veu modificada per les propietats del Mar Mediterrani. Circula cíclicament envoltant del Mar Tírrè prop de la superfície. De la mateixa manera, l'Aigua Intermèdia Llevantina també circula cíclicament envoltant del Mar Tírrè per a profunditats entre 200 i 700 m. Ambdues masses d'aigua tenen un flux cap a les parts més profundes de la conca on s'observen les escales termohalines - Font: Figura 1 de Buffet <i>et al.</i> , 2013..... | 3 |
| Figura 3. Àrea d'estudi i estacions de mostreig de la campanya PUDEM (l'escala està en milles nàutiques) – Font: Guillén <i>et al.</i> , 2018..... | 5 |
| Figura 4. Els perfils de temperatura(a-f) estan acolorits en funció del temps, de la data de campanya. Cada gràfic correspon a una estació – Font: Figura 10 de Ortigosa <i>et al.</i> , 2022. | 6 |
| Figura 5. Condicions de vent i corrents de l'11 de novembre al 3 d'abril de 2011. De dalt a baix: alçada d'ona significant, període de pic de l'onada, direcció mitjana de l'onada i intensitat del corrent a 0.9 m del fons. Les regions grises són els períodes de tempesta (de l'A a la G)- Font: Figura 2 de Antonijuan <i>et al.</i> , 2011..... | 7 |
| Figura 6. Vectors progressius que mostren l'evolució dels corrents a 0.9 m del fons (esquerra) i 8.9 m del fons (dreta). Els episodis de tempesta estan marcats amb negreta (A-G) – Font: Figura 4 de Antonijuan <i>et al.</i> , 2011..... | 8 |
| Figura 7. Imatge obtinguda d'ARGUS en la que s'observa la formació de ploma d'aigua dolça davant de dos espigons propers a la zona d'estudi durant un episodi de pluja – Font: Guillén J., Comunicació personal..... | 9 |
| Figura 8. Imatge d'un patí de vela navegant – Font: Web del Club Patí Vela Barcelona (pativelabarcelona.com). | 11 |
| Figura 9. A l'esquerra, la caixa multiparamètrica col·locada a bord del Patí Científic. A la dreta, els detalls de l'interior d'aquesta i la configuració del circuit d'aigua – Font: Figura 2 de Ortigosa <i>et al.</i> , 2022. | 11 |
| Figura 10. Trencament del cilindre de la caixa multiparamètrica degut a un incorrecte funcionament de la purga d'aire i l'explotació per augment de pressió dins el circuit..... | 12 |
| Figura 11. Imatge del perfilador de temperatura (TD), juntament amb el cap i els pesos que s'utilitzen per la realització dels perfils..... | 13 |
| Figura 12. Imatge del CTD CastAway a punt de ser submergit per a realitzar un perfil (esquerra) i de la captura d'un vídeo que es va realitzar durant la navegació arrastrant el CTD CastAway. | 14 |

| | |
|--|----|
| Figura 13. Es mostren les estacions de mesura (TD1-TD6), els dos sobreeixidors on es crearà la ploma i l'estació de Meteocat del Raval. | 15 |
| Figura 14. Imatge presa durant la realització d'una campanya mentre es navegava entre dues estacions..... | 16 |
| Figura 15. El CTD CastAway arrossegat pel patí (esquerra) durant una campanya i la preparació del TD i el CTD per realitzar un perfil sobre l'estació de mesura (dreta)..... | 17 |
| Figura 16. Localització de la Boia de Barcelona II de Puertos del Estado – Font: Web de Puertos del Estado (puertos.es). | 22 |
| Figura 17. Condicions meteorològiques i d'onatge en el període d'estudi. En línies discontinúes grises es marquen les dates en que es va realitzar campanyes | 22 |
| Figura 18. De dalt a baix: temperatura de l'aire (°C), precipitació acumulada (mm), velocitat del vent a 10m (m/s) i pressió atmosfèrica (hPa) per a l'any 2020. | 24 |
| Figura 19. Exemple de dues situacions de pluja; en la primera, el 2 de maig de 2017, no s'observa ploma, mentre que en la segona, l'11 de maig de 2017, sí que es pot observar. | 25 |
| Figura 20. Episodis de pluja dels mesos de febrer, març, abril i maig del 2016 al 2018. En l'eix horitzontal, data en que va ploure, en l'eix vertical, de dalt a baix: intensitat de pluja en mm, intensitat de vent màxima (m/s) i alçada d'ona significant (m). En lila fluix, es marquen els episodis en que no es va observar ploma, en lila fort, en els que sí que es va observar. | 25 |
| Figura 21. Episodis de pluja dels mesos de febrer, març, abril i maig del 2019 al 2022. En lila fluix, es marquen els episodis en que no es va observar ploma, en lila fort, en els que sí que es va observar. | 26 |
| Figura 22. Ampliació de les condicions de les campanyes del 23 i el 25 de maig (esquerra) i de la formació de ploma a les 18h del 24 de maig..... | 27 |
| Figura 23. CTD CastAway juntament amb el CTD SBE de la PUDEM, el dia 29 de març de 2022, quan es varen realitzar perfils conjunts per a la posterior validació. | 28 |
| Figura 24. Exemple de la comparació dels perfils processats i promitjats del CTD CastAway de: (a) temperatura, (b)conductivitat i (c) salinitat, per a l'estació TD4..... | 29 |
| Figura 25. Comparació dels perfils CTD SBE i del CTD CastAway obtinguts el 29 de març, juntament amb l'error quadràtic mig i el coeficient de determinació. En la primera subtaula es tenen els perfils de temperatura, en la segona de salinitat i en la tercera de conductivitat..... | 32 |
| Figura 26. Comparació del perfil de temperatura a partir del perfilador TD i del CTD CastAway juntament amb l'error quadràtic mig i el coeficient de determinació. Exemple per al dia 8 d'abril. | 33 |
| Figura 27. Comparació dels perfils bruts del CTD CastAway amb els perfils processats per la mateixa aplicació. | 34 |
| Figura 28. Perfil TD de l'estació TD5 (1 Octubre 2021) després d'aplicar el procés de qualitat de dades. Es mostren els punts de baixada (color) i els punts de pujada (en gris). Els punts blaus | |

| | |
|--|----|
| corresponen a les dades considerades bones (flag = 1), mentre que els taronges corresponen a les dades sospitoses (flag = 3) – Font: Figura 7 de Ortigosa <i>et al.</i> , 2022. | 36 |
| Figura 29. Perfils de salinitat mensuals obtinguts a les campanyes PUDEM des del 2017 al 2022. En negre, el perfil promitjat que serà utilitzat com a referència. | 39 |
| Figura 30. Dades superficials de temperatura (blau), conductivitat (rosa), salinitat (verd), pressió (negre) i velocitat (gris) del dia 8 de març del 2022. | 40 |
| Figura 31. Mapes de les dades superficials no processades. De dalt a baix i esquerra a dreta: temps, velocitat, pressió, temperatura, conductivitat i salinitat. Les estrelles negres indiquen les estacions de mesura definides. | 41 |
| Figura 32. Les dades vermelles són aquelles que segons el control de qualitat han estat considerades dolentes o sospitoses. | 42 |
| Figura 33. En vermell es marquen sobre els mapes les dades dolentes o sospitoses segons els criteris establerts per el control de qualitat. | 43 |
| Figura 34. En vermell es poden veure les dades promitjades cada 15s de mostreig. | 43 |
| Figura 35. Mapes de les dades promitjades. | 44 |
| Figura 36. En blau, les dades de salinitat resultants del control de qualitat automàtic. En cian, les dades dolentes que han estat seleccionades per ser eliminades mitjançant una eina de Matlab. | 44 |
| Figura 37. En vermell, les dades netes i promitjades de temperatura, salinitat, pressió i velocitat superficials. | 45 |
| Figura 38. Perfils de temperatura processats i corregits (+0.25°C) del CTD CastAway juntament amb el perfil de referència (en negre). Superior: estació TD2, inferior: TD4. | 46 |
| Figura 39. Perfils de salinitat processats i corregits del CTD CastAway juntament amb el perfil de referència (en negre). Superior: estació TD2, inferior: TD4. | 47 |
| Figura 40. L'evolució temporal de la temperatura (superior) i la salinitat (inferior) superficials en funció de l'hora. En colors, de fred (març) a càlid (maig), les dates de campanya. | 48 |
| Figura 41. Evolució temporal de la temperatura en la zona d'estudi. Les estrelles blanques indiquen les estacions de mesura definides. | 49 |
| Figura 42. Evolució temporal de la salinitat en la zona d'estudi. Les estrelles blanques indiquen les estacions de mesura definides. | 49 |
| Figura 43. Disposició dels sensors del CTD CastAway. | 63 |

Llistat de Taules

| | |
|---|----|
| Taula 1. Característiques d'un patí de vela convencional – Font: Ortigosa <i>et al.</i> , 2022. | 10 |
| Taula 2. Distinció de tres fases del projecte del Patí Científic en que es mostra el tipus de funcionament dels diferents instruments utilitzats: el TD, el TSG i el CTD CastAway. | 14 |
| Taula 3. Posició de les sis estacions de mesura en la que es mostra la profunditat màxima assolida pel perfilador TD i el CTD CastAway. La profunditat total en els punts TD5 i TD6 és de 30 i 40m, respectivament..... | 15 |
| Taula 4. Diari de campanyes..... | 21 |
| Taula 5. Promig dels errors quadràtics mitjos i dels coeficients de determinació del CTD SBE i el CTD CastAway..... | 32 |
| Taula 6. Promig dels errors quadràtics mitjos i dels coeficients de determinació de la temperatura mesurades a partir del perfilador TD i del CTD CastAway corregit. | 33 |
| Taula 7. Control de qualitat aplicat durant el processat de dades del TD – Font: Traduïda de la taula 2 de Ortigosa <i>et al.</i> 2022. | 35 |
| Taula 8. Control de qualitat aplicat durant el processat de dades del CTD CastAway. | 42 |
| Taula 9. Propietats dels sensors del CTD CastAway..... | 64 |

1- Introducció

Les platges de la ciutat de Barcelona (nord-oest de la Mediterrània), són un clar exemple de medi marí litoral degradat degut a les conseqüències d'una activitat antropogènica insostenible i a l'aportació continua de contaminants. Els impactes negatius sobre aquest medi comporten implicacions de gran abast tant per a la salut i el benestar dels 3.3 milions d'habitants de l'àrea metropolitana (amb.cat), com per al turisme local i els sectors pesquers de la zona.

A més, la costa barcelonina, cada any és testimoni de diversos episodis de tempesta caracteritzats per pluges abundants i onatge intens, que com a conseqüència comporten aigües altament contaminades, provinents de l'escorrentia d'aigua de la ciutat, i una reducció de l'amplada de les platges (Ojeda i Guillén 2008 i Sancho-García *et al.*, 2013; Ortigosa *et al.*, 2022).

Malgrat haver demostrat ser una zona de gran rellevància ecològica, social i econòmica, Barcelona es troba en una situació d'escassetat de mostreig de dades i per tant de desconeixement de les variacions espaciotemporals dels paràmetres que caracteritzen l'aigua (com són la salinitat i la temperatura). La causa principal d'això és per una part, la limitada resolució espaciotemporal que tenen els satèl·lits prop de la costa i per tant, la impossibilitat de proporcionar dades de confiança i per altra banda, la dificultat tan tècnica com econòmica per establir plataformes oceanogràfiques convencionals en aquests espais (Ortigosa *et al.* 2022).

L'única campanya de mostreig sistemàtica que existeix en les costes de Barcelona amb l'objectiu de determinar variacions espaciotemporals mar endins és la PUDEM; campanya impulsada per l'Institut de Ciències del Mar (ICM-CSIC), que des del 2002 monitora de manera mensual paràmetres de temperatura, salinitat, terbolesa i fluorescència al llarg de diferents punts que segueixen una línia perpendicular a la platja del Somorrostro cap a mar endins (Guillén *et al.* 2018).

Un dels reptes principals en ciències oceàniques definits pel Consell Superior d'Investigacions Científiques, en el marc de la Dècada de les Ciències Oceàniques per al Desenvolupament Sostenible (2021-2030) de les Nacions Unides, és abordar la necessitat d'observacions oceàniques sostingudes i integrades com a requisit per entendre l'estat de l'oceà i el seu paper en la regulació del clima (Macías *et al.* 2021). A més a més, per tal de fomentar la preservació de l'entorn marí és necessari augmentar la consciència social envers els mars i oceans. En aquest sentit, la millora de sistemes de mesura costaners poden anar acompanyades per propostes alternatives de mesura obertes a la participació ciutadana.

D'acord amb aquesta triple necessitat de donar solució a la manca de mostreig, de reconciliar la població barcelonina amb l'entorn marí i d'oferir una alternativa de mesura assequible i sostenible de les aigües properes a Barcelona, es proposa la iniciativa de ciència ciutadana *Patí Científic* (Ortigosa *et al.* 2022). Es tracta d'un projecte innovador que té per objectiu principal la

monitorització de les aigües costaneres mitjançant l'equipació amb instrumentació de baix cost d'una embarcació d'esbarjo de vela molt utilitzada a Catalunya; el patí de vela.

Aquest treball, en el marc del projecte del *Patí Científic* (d'ara en endavant SPV, de Scientific Pati Vela en anglès), consisteix principalment en una trajectòria experimental per determinar quina és la metodologia i instrumentació més òptima per dotar al patí i assolir l'objectiu d'aconseguir unes dades consistents de variacions espaciotemporals de temperatura i salinitat; tant en profunditat com en trams superficials.

No obstant, la finalitat no serà només metodològica, sinó que també es tracta de caracteritzar els episodis de pluja intensos propis de la zona esmentats anteriorment, realitzant nombroses sortides de camp durant els mesos de febrer a maig de 2022. I és que la zona d'estudi, la platja del Somorrostro, es veu molt afectada per l'aigua d'escorrentia recollida per dos dels sobreeixidors de la ciutat, on en situacions en que les depuradores arrebossen, desvien l'excés de caudal directament al mar. Això suposa que en situacions de pluja elevada, s'aboquin grans quantitats d'aigua no tractada al mar, formant en ocasions el que anomenarem "plomes" d'aigua dolça, les quals poden provocar variacions en la composició de l'aigua. Per tant, una de les principals preguntes a les quals s'intentarà donar resposta en aquest treball és si es produeix un canvi significatiu en la temperatura i salinitat de la zona durant aquests episodis i si aquests poden ser detectats mitjançant l'equipació del SPV.

2- Estat de l'art

2.1- Zona d'estudi

La ciutat de Barcelona està situada al nord-oest de la Mediterrània, a la costa catalana. Es tracta d'una zona micromareal (rang típic d'uns 20 cm), en la qual les onades són el principal mecanisme de mescla i de control de l'evolució del litoral (Ojeda i Guillén 2008). Les tempestes més energètiques s'acosten des de l'est, tenen una durada típica d'uns pocs dies i sovint s'associen a l'activitat ciclònica meteorològica de la Mediterrània occidental (Ojeda i Guillén 2008). La hidrografia de les aigües costaneres de Barcelona es caracteritza per una forta estacionalitat, amb evidents influències antropogèniques importants (Romero *et al.* 2014).



Figura 1. Imatge de la zona d'estudi obtinguda amb Google Maps i editada amb les localitzacions d'interès.

La zona costanera estudiada es troba davant de la platja del Somorrostro, prop del centre de Barcelona, i també a prop del Port Olímpic, un port esportiu amb notable activitat nàutica durant la temporada d'estiu (Figura 1). La major part del litoral barceloní esdevé una platja força concorreguda durant aquesta temporada i la zona d'estudi també es veu afectada per l'aigua d'escorrentia recollida per dos dels sobreexidors de la ciutat (Espigons de la Figura 1) que en cas de pluja elevada, poden abocar aigua no tractada procedent del carrer al mar (Ortigosa *et al.* 2020). Per tant, hi ha una forta pressió antròpica que afecta les condicions naturals de la zona d'interès.

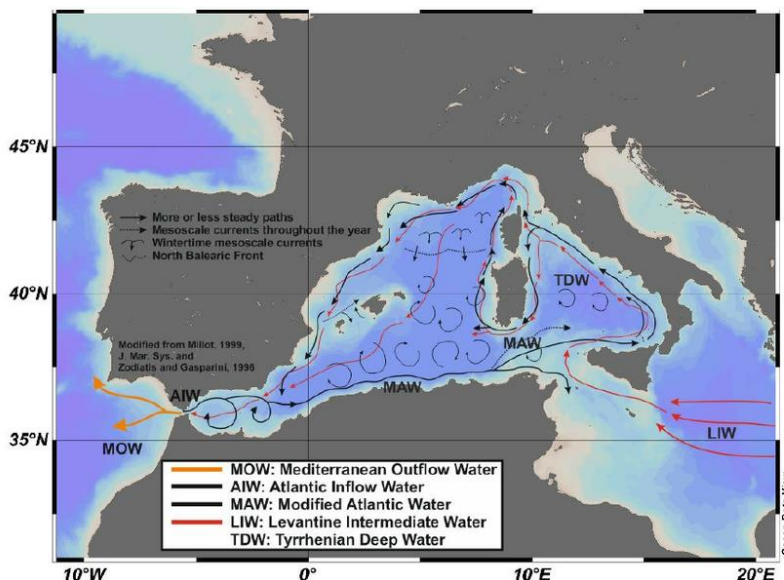


Figura 2. Circulació en el Mar Mediterrani Occidental. Modificat després de Millot (1999) i Zodiatis i Garparini (1996). L'aigua mediterrània que desemboca en l'Oceà Atlàntic és substituïda per l'agua atlàntica que resideix en els 200 m superiors de la columna d'aigua. A mesura que es desplaça cap a l'est, es veu modificada per les propietats del Mar Mediterrani. Circula cíclicament envoltant del Mar Tirrè prop de la superfície. De la mateixa manera, l'Aigua Intermèdia Llevantina també circula cíclicament envoltant del Mar Tirrè per a profunditats entre 200 i 700 m. Ambdues masses d'aigua tenen un flux cap a les parts més profundes de la conca on s'observen les escales termohalines - Font: Figura 1 de Buffet *et al.*, 2013.

Per comprendre millor quins patrons de circulació influiran en la variabilitat dels paràmetres oceanogràfics de la zona a una profunditat relativament superficial, és necessari comprendre un esquema general de les corrents al llarg del Mediterrani occidental. La circulació de les masses d'aigua en aquesta zona han estat ben descrites en treballs anteriors (p. ex. Font et al. 1988). Les Aigües de l'Atlàntic (AA) de baixa salinitat, flueixen a través de l'estret de Gibraltar seguint patrons ciclònics a la Mediterrània occidental. Aquestes AA entrants recentment arribades (rAA) arriben a les Illes Balears i a l'estret de Sicília en pocs mesos. Després, evolucionen cap al nord fins al Mar Tirrè i Ligur, arribant al talús en front del Golf del Lleó i continuen cap al sud, afectant el mar Catalano-Balear i tancant un circuit ciclònic a la conca mediterrània Nord-oest (Millot 1990). L'AA es va modificant progressivament al llarg d'aquesta ruta degut a l'efecte de processos de mescla vertical i evaporació que actuen principalment durant l'hivern. A més, al llarg del Golf de Lleó, es van incorporant aportacions d'aigua dolça dels rius de la zona que ajuden a mantenir una salinitat més baixa a la costa. No obstant, més enllà de la costa, a la part central del mar Catalano-Balear, es torna més salada (Guillén *et al.*, 2018). Aquestes AA antigues (oAA) estan separades de les rAA costaneres per un marcat front de canvi de densitat (Salat i Font 1987; Font *et al.* 1988). Al llarg de la plataforma i el vessant i al mar obert del nord-oest del Mediterrani, la pèrdua de calor a l'hivern, la convecció vertical i la mescla afecten típicament la capa superior ocupada per oAA, formant una capa intermèdia caracteritzada per una temperatura mínima relativa (Lacombe i Tchernia 1972; Salat i Font 1987) i actualment coneguda com a Aigua Intermèdia de la Mediterrània Occidental (WIW).

Com s'ha esmentat, l'àrea d'estudi serà la plataforma interior de davant la ciutat de Barcelona. En aquesta àrea, les masses d'aigua es veuen modificades durant l'any degut a les interaccions atmosfera-oceà, amb un rang mensual mitjà de 14°C (Ortigosa *et al.* 2022). De la primavera a la tardor es forma una termoclina estacional, que a l'hivern s'esvaeix i la columna d'aigua es torna homogènia (Guillén *et al.*, 2018). La zona es caracteritza per un corrent predominant del nord-est que condueix l'aigua de la plataforma de densitat relativament baixa (Grifoll *et al.*, 2012).

2.2- Campanyes PUEM

L'única campanya de mostreig sistemàtica que s'ha realitzat en la nostra zona d'interès amb l'objectiu de determinar variacions espaciotemporals de la costa mar endins és la PUEM. Per tal d'estudiar l'evolució de la temperatura, salinitat, concentració sediment en suspensió i clorofil·la en la columna d'aigua de la costa de davant la ciutat de Barcelona i analitzar la variabilitat interanual i estacional d'aquestes variables (Guillén *et al.*, 2018) es van realitzar 117 campanyes mensuals des de l'Abril del 2002 al Novembre de 2012, projecte que s'ha continuat fins a dia d'avui.

Durant cada sortida es realitzaven 4 llançaments (en les 4 estacions definides) d'un SBE 25 CTD conjuntament amb sensors de terbolesa i fluorescència, que posteriorment, al 2019, es va substituir per un SBE 19+. Es seguien dos transectes, cada un dels quals constava de quatre estacions a 10, 20, 30 i 40 m de profunditat (les estacions 1-1, 1-2, 1-3 i 1-4 per al transecte 1 i 2-1, 2-2, 2-3 i 2-4 per al transecte 2) (Figura 3).



Figura 3. Àrea d'estudi i estacions de mostreig de la campanya PUDEM (l'escala està en milles nàutiques) – Font: Guillén *et al.*, 2018.

A més, durant l'estiu de 2009 i de febrer a maig de 2011, es va poder estudiar la variabilitat a curt termini de la temperatura de l'aigua superficial mitjançant un sensor de temperatura integrat en una sonda AQUAlogger 210TYT amarrada a l'estació 1.1. (Figura 3), a 1,5 m per sota del nivell de les aigües superficials (Guillén *et al.*, 2018).

Segons els resultats obtinguts per Guillén *et al.*, 2018, s'observa un clar component estacional en la zona. I es que les propietats de l'aigua de mar a la zona costanera de Barcelona mostren el cicle estacional característic de les aigües costaneres del Nord-oest del Mediterrani (Salat *et al.*, 2002). El període d'escalfament comença al març-abril amb una estratificació progressiva, arribant a una temperatura superficial màxima a l'agost. Aleshores, el refredament superficial i la barreja vertical impulsada pel vent a la tardor (finals d'octubre-novembre) trenquen la termoclina estacional, donant lloc a una homogeneïtzació vertical. El refredament de tota la columna d'aigua per convecció i mescla vertical continua durant l'hivern (desembre a febrer) fins a l'inici del següent cicle d'escalfament al març.

La temperatura mitjana de profunditat a l'estació més profunda (40 m) va ser de 16,71 °C (rang d'11,72 °C a 22,83 °C). La salinitat absoluta mitjana mesurada a l'estació 1.4 va ser de 38.19, oscil·lant entre 37.59 i 38.60. Les sèries temporals de salinitat també van mostrar una forta estacionalitat, amb el màxim a l'hivern i el mínim a la primavera. La distribució mitjana mensual mostra que la salinitat màxima (>38) es va produir durant l'hivern de novembre a març, quan els valors eren gairebé verticalment homogenis. Això es deu a que els forts vents a l'hivern afavoreixen la mescla vertical i l'evaporació, provocant un augment de la salinitat. Els valors mínims de salinitat es van assolir al maig i juny, amb les aigües superficials més fresques al juny, Guillén *et al.*, 2018.

Les dades obtingudes per la campanya PUDEM durant tots els seus anys de realització, s'utilitzaran en aquest treball per a construir una base històrica recent de la temperatura i la

salinitat de la zona i per tant per establir una referència per a les nostres mesures i així posteriorment poder observar diferències durant episodis de pluja. Per altra banda, com que els resultats obtinguts en ambdós transectes (1 i 2) definits en aquestes campanyes es varen observar molt similars, va marcar un precedent del projecte del *Patí Científic* i per aquesta raó es va decidir analitzar només el transecte 1.

2.3- Projecte Patí Científic

Ortigosa *et al.* 2022, en una primera publicació dels resultats obtinguts amb l'SPV, varen presentar l'evolució de la distribució de la temperatura a la columna d'aigua (Figura 4) obtinguda amb un perfilador de baix cost de temperatura (TD) durant les campanyes de camp realitzades aproximadament un cop per setmana entre el 28 de Juliol i 18 de novembre de 2021. En aquests perfils, es varen suprimir els pocs metres superiors de la columna d'aigua per tal d'eliminar les variacions de temperatura associades al cicle diürn.

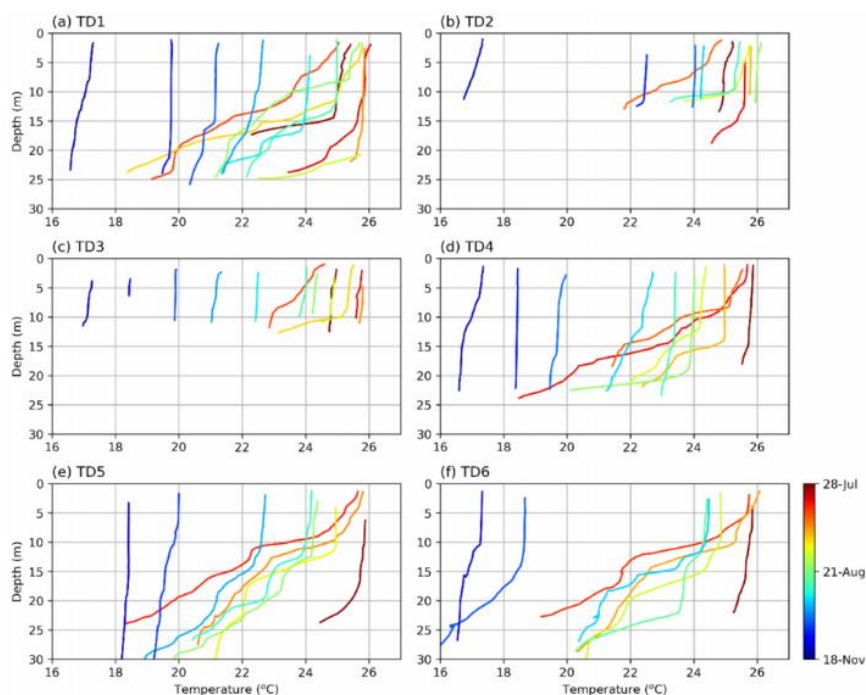


Figura 4. Els perfils de temperatura(a-f) estan acolorits en funció del temps, de la data de campanya. Cada gràfic correspon a una estació – Font: Figura 10 de Ortigosa *et al.*, 2022.

Els perfils de temperatura en profunditat obtinguts mostraven que la profunditat de la capa de mescla augmentava i el gradient de profunditat general de la temperatura disminuïa des de l'estiu fins a la tardor, a mesura que l'alçada de les ones no locals augmentava progressivament i la temperatura de l'aire disminuïa.

Els resultats obtinguts per Ortigosa *et al.* 2022 tindran una funció similar que els obtinguts amb la PUDEM; ajudar a conèixer el comportament dels diferents paràmetres en la zona d'estudi. És a

dir, els perfils TD serviran per a ampliar la base de dades de temperatura en profunditat en les estacions d'estudi, per així posteriorment poder observar diferències i treure conclusions sobre les noves dades obtingudes.

2.4- Corrents

Seguint amb la línia d'identificació de possibles entrades d'aigua dolça cap a mar endins durant episodis de pluja, en aquest treball serà necessari comprendre com són les corrents a petita escala en la zona d'estudi, per així poder predir quines possibles trajectòries seguiran les plomes d'aigua dolça quan entrin en contacte amb l'aigua marina. Antonijuan *et al.*, 2011, varen estudiar durant 5 mesos (del 10 de Novembre de 2010 al 30 d'Abril de 2011) la dinàmica sedimentària a les platges de Barcelona, utilitzant un Nortek ADCP AWAC 1MHz (perfilador de corrents) equipat amb sensors de pressió i temperatura, juntament amb un sensor de terbolesa OBS (de la marca D&A). El trípod es va desplegar prop de la far vermell que marca l'entrada al Port Olímpic, a 10 m de profunditat. Com a resultat, es va obtenir informació sobre les condicions d'onatge i corrents i els fluxos de sediments durant el període esmentat.

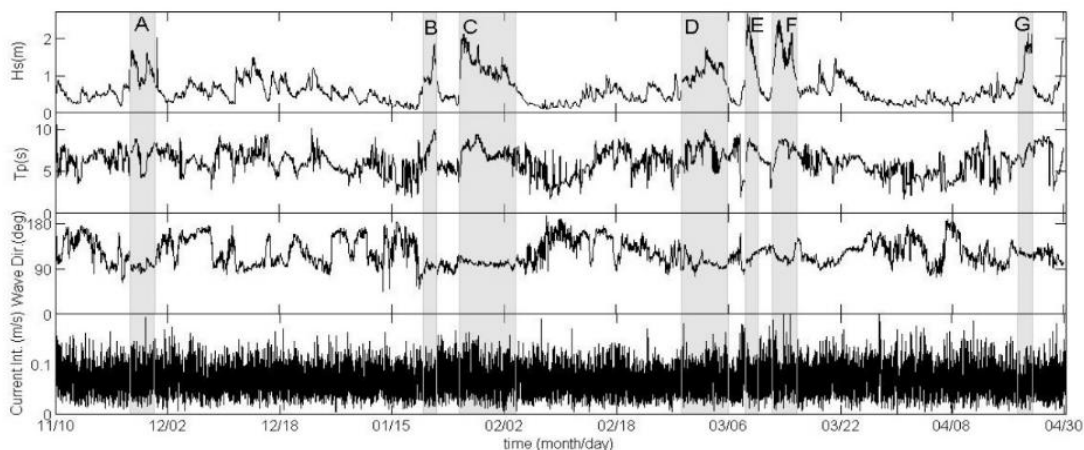


Figura 5. Condicions de vent i corrents de l'11 de novembre al 3 d'abril de 2011. De dalt a baix: alçada d'ona significativa, període de pic de l'ona, direcció mitjana de l'ona i intensitat del corrent a 0.9 m del fons.

Les regions grises són els períodes de tempesta (de l'A a la G)- Font: Figura 2 de Antonijuan *et al.*, 2011.

Durant el període d'estudi, Antonijuan *et al.*, 2011, varen identificar set tempestes provinents de l'est amb una alçada d'onatge significativa major a 1,5 m (Figura 5). Les regions ombrejades de la Figura 5 mostren aquestes tempestes delimitades per $H_s > 0,75$ m (anomenades d'A-G).

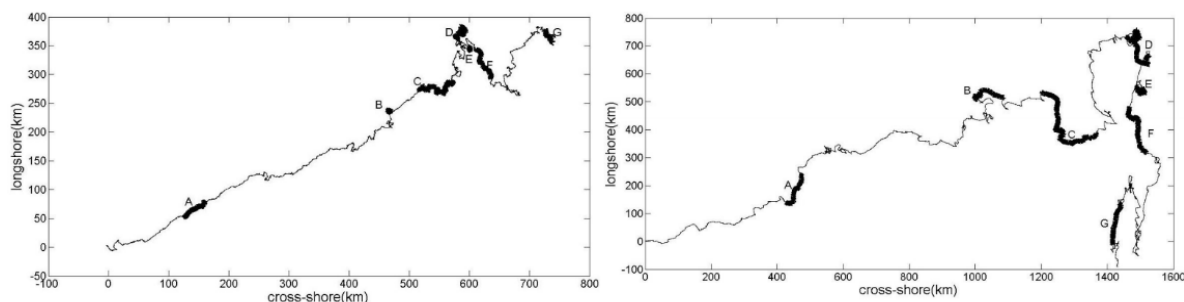


Figura 6. Vectors progressius que mostren l'evolució dels corrents a 0.9 m del fons (esquerra) i 8.9 m del fons (dreta). Els episodis de tempesta estan marcats amb negreta (A-G) – Font: Figura 4 de Antonijuan *et al.*, 2011.

Una de les gràfiques publicades en el treball de Antonijuan *et al.*, 2011 (Figura 6), mostra mitjançant vectors progressius (promitjats de velocitat) com evolucionen els corrents en la zona a 0.9 m del fons (esquerra) i 8.9 m del fons (dreta). Tenint en compte que el (0,0) és el punt de mesura, es pot observar com s'accentua un patró de circulació **nord-est** a 0,9 m del fons marí (l'equip es troba situat al fons). No obstant, durant alguns períodes es poden observar **inversions en la direcció**, que coincideixen en alguns casos amb **esdeveniments de tempestes**. Per exemple, s'observa una inversió de corrent cap al sud a la tempesta que comença el 2 de març (tempesta D). El vector progressiu a 8,9 m també presenta un patró de circulació **nord-est** fins a finals de gener, mentre que de **març a abril** el flux gira principalment cap al sud i paral·lel a la costa.

En definitiva, això serà útil per tenir una idea de cap on acostuma a desplaçar-se la ploma segons l'època de l'any en que ens trobem; durant els mesos **d'hivern** ho fa normalment en **direcció nord-est** i **a partir del març** varia cap a **direcció sud o sud-oest**. Aquests resultats suggereixen que aquests dos tipus de corrents són els predominants, però s'ha de tenir en compte que no totes les primaveres tenen perquè ser així. Per altra banda, també s'ha de contemplar que en condicions extremes d'onatge es poden produir excepcions.

Grifoll *et al.*, 2014, analitzant els mecanismes que controlen els depòsits fins en front del riu Besós, també menciona que les simulacions d'un any revelen un flux mitjà predominant cap al sud-oest.

2.5- Plomes

Per assolir els objectius d'aquest estudi, serà necessari conèixer en quines condicions meteorològiques es poden visualitzar plomes en els emissaris propers a la platja del Somorrostro, ja que això ens permetrà planificar les campanyes amb antelació i sortir a prendre mesures per tal d'observar variacions de salinitat i temperatura en aquestes ocasions.

Com a antecedents, es compta amb un treball d'anàlisi d'episodis de pluja i d'identificació de plomes mitjançant imatges recollides del sistema ARGUS. Observant-se, entre l'1 de novembre del

2001 i el 30 d'abril de 2006, 100 episodis de pluja més o menys llargs. Es compta també amb dades de velocitat (m/s) i direcció del vent ($^{\circ}$ N), temperatura ($^{\circ}$ C) i precipitacions (mm) obtingudes de l'Observatori Fabra i Puig (Guillén J., Comunicació personal).

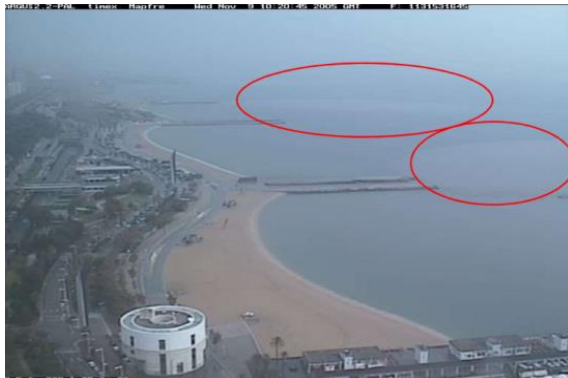


Figura 7. Imatge obtinguda d'ARGUS en la que s'observa la formació de ploma d'aigua dolça davant de dos espigons propers a la zona d'estudi durant un episodi de pluja – Font: Guillén J., Comunicació personal.

El sistema de video-monitoreig ARGUS ofereix la possibilitat de detecció i alerta en temps real i una bona precisió en les mesures sempre que la meteorologia ho permeti (en ocasions de poca visibilitat no es pot observar amb claredat si es produeixen plomes).

Els resultats més rellevants que es varen obtenir d'aquest estudi varen ser que la quantitat de pluja i la duració dels episodis són casi sempre proporcionals i que la velocitat de propagació dels fronts de la ploma està relacionada amb la quantitat de pluja caiguda.

3- Objectius

Com a necessitat per donar solucions a la falta d'observacions de paràmetres oceanogràfics en les costes més properes a la ciutat de Barcelona, neix el projecte *Patí Científic*. Si bé ja es contava amb dades mensuals de la PUDEM, en aquest treball s'intentarà aconseguir una base de dades oceanogràfiques més continuada de les aigües properes a la platja del Somorrostro (Barcelona).

Els objectius principals d'aquest estudi seran:

- Aconseguir equipar una embarcació de manera sostenible el SPV amb instrumentació òptima i eficient de baix cost per tal de poder obtenir dades tant en profunditat com superficials de temperatura i salinitat de manera més contínua en el temps (si en la PUDEM era mensual, passar a setmanal), amb la finalitat de que en un futur es puguin implementar en altres embarcacions d'aquest tipus i monitoritzar tota la zona a través de la Ciència Ciutadana.

- Per altra banda, s'intentarà respondre a la qüestió de si som capaços d'identificar plomes d'aigua dolça amb la instrumentació implementada en el SPV en el període de febrer a maig del 2022 i per tant, detectar canvis en la temperatura i la salinitat de la zona d'estudi durant o posteriorment a episodis de pluja.

Per assolir aquests objectius, s'hauran d'establir una sèrie d'objectius secundaris:

- Realitzar un nombre determinat de sortides al mar per tenir una base de dades suficientment extensa en el període d'anàlisi.
- Relacionar episodis de visualització de plomes amb condicions meteorològiques per a poder planificar les campanyes.
- Aprenentatge en processat i tractament de dades de tots els instruments que s'aniran provant.

4- Materials

4.1- Patí vela

El Patí de Vela és una embarcació esportiva en forma de petit catamarà de vela lleugera típic de Catalunya, generalment construït de fusta de forma tradicional i sostenible. Segons el Diccionari nàutic del Termcat, el Centre de Terminologia de la Generalitat de Catalunya, es considera vela lleugera la modalitat de vela que es practica a prop de la costa o bé en aigües interiors i amb una tripulació reduïda [24]. Va néixer paral·lelament a Barcelona i a Badalona amb l'objectiu de poder passar per sobre de les aigües contaminades properes a les platges. El disseny estàndard que s'utilitza actualment segueix l'original realitzat pels germans Mongé l'any 1942. Les principals particularitats del patí de vela són que no té timó, orsa ni botavara, de manera que s'endinsa a l'aigua directament des de la platja (Taula 1) . El patí es maniobra desplaçant a la tripulació per la coberta i per tant movent el centre de gravetat del vaixell. El centre de pressió de la vela es pot controlar ajustant la tensió en la vela.

| Eslora | Mànega | Desplaçament (casc) | Superfície vèlica | Tipus de casc |
|--------|--------|---------------------|----------------------|---------------|
| 5.60 m | 1.60 m | 89 kg | 12.60 m ² | Catamarà |

Taula 1. Característiques d'un patí de vela convencional – Font: Ortigosa *et al.*, 2022.

Segons explica Gerard Esteva, expresident de l'ADIPAV6 , al llibre Navegando en Patín a Vela, l'any 2007 la flota de patins de vela a Catalunya era d'un total de 1.500 embarcacions.



Figura 8. Imatge d'un patí de vela navegant – Font: Web del Club Patí Vela Barcelona (pativelabarcelona.com).

4.2- Patí Científic: Instrumentació

4.2.1- Termosalinògraf (TSG)

El patí de vela es va convertir inicialment en el *Patí Científic* (SPV) quan va ser adaptat i equipat amb una caixa multiparamètrica a bord, la qual incloïa una bomba, una bateria i diversos sensors de baix cost introduïts en un cilindre de PVC (Figura 9). Disposava de dos tubs flexibles entrants i sortints de la caixa, els qual permetien recollir aigua de la superfície la qual travessava el sistema i després s'alliberen de nou al mar. Per tant, els diversos sensors dins de la caixa permetien mostrejar contínuament les variables superficials, dades que es podien emmagatzemar internament o transmetre via wifi per a que estiguin disponibles a la plataforma *smartcitizen.me*. Com que després de diferents proves es va observar que només es podrien fer servir de manera fiable els sensors de temperatura i salinitat, la caixa va passar a realitzar les funcions d'un termosalinògraf, per això molts cops serà anomenada amb les sigles TSG.

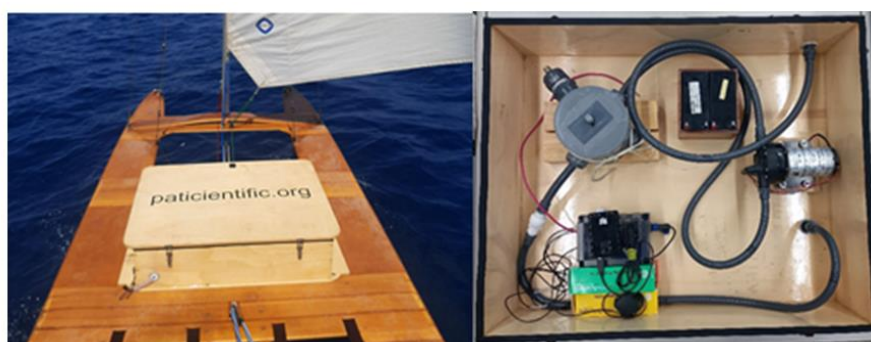


Figura 9. A l'esquerra, la caixa multiparamètrica col·locada a bord del Patí Científic. A la dreta, els detalls de l'interior d'aquesta i la configuració del circuit d'aigua – Font: Figura 2 de Ortigosa *et al.*, 2022.

L'adaptació física que implica el SPV modifica el desplaçament, el centre de gravetat i el trimat de l'embarcació. Això canvia l'estabilitat, la resistència, la maniobrabilitat i els moviments del vaixell. De totes formes, aquests canvis no impedeixen fer servir el patí de vela com a SPV.

El SPV també es va equipar ja inicialment amb un perfilador de temperatura i pressió (TD, per sus sigles en anglès), que té sensors de temperatura i pressió de baix cost i es pot desplegar fins a una profunditat d'uns 80 m.

Posteriorment, a partir del març del 2022 (un mes després de l'inici d'aquest treball), degut al trencament del termosalinògraf, es va incorporar a l'instrumentació del patí un CTD CastAway.

La primera fase del projecte *Patí Científic* va començar el desembre del 2019 amb l'estudi de com alteraria a la dinàmica d'un patí l'incorporació d'una caixa instrumentada (Figura 9) i quin podria ser el seu disseny (Carrasco, 2020). La caixa multiparamètrica a bord extraïble (que inclou un dispositiu Smart Citizen desenvolupat per FabLab Barcelona, <https://fablabbcn.org/>) podia contenir diversos sensors de baix cost: temperatura (PT-1000), salinitat (Sonda K-10), PH (Lab Grade pH Probe) i oxigen dissolt (Lab Grade Dissolved Oxygen Probe). Els sensors de baix cost reduïen en gran mesura el preu de tota la instal·lació i obrien la possibilitat que diversos SPV poguessin monitoritzar simultàniament les aigües costaneres, millorant considerablement la cobertura espacial en poc temps. La caixa va demostrar tenir poc efecte en la hidrodinàmica del vaixell si es col·loca entre el segon i el tercer banc del buc. Ortigosa *et al.*, 2020 van analitzar els efectes d'aquest prototip de caixa sobre la hidrodinàmica del veler, tant numèricament com al mar, i van determinar la millor configuració que conserva les característiques essencials d'estabilitat perquè no interfereixi en el rendiment de la navegació d'aquest vaixell d'esbarjo.

A partir del juliol del 2021 es començaren a realitzar proves de recollida de dades amb el TSG, que es varen veure interrompudes fins a trobar una configuració òptima de la caixa el novembre de 2021, deixant només els sensors de temperatura i conductivitat. No obstant, al gener de 2022 es va trencar degut a la incorrecta purga d'aire de dins el sistema que va fer estallar el cilindre. Va ser per aquest motiu i per la inconsistència de les dades que es va haver d'optar per un mètode nou de mesura superficial; el CTD CastAway (secció 4.2.3).



Figura 10. Trencament del cilindre de la caixa multiparamètrica degut a un incorrecte funcionament de la purga d'aire i l'explosió per augment de pressió dins el circuit.

4.2.2- Perfilador de temperatura i pressió (TD)

El perfil de temperatura vertical s'obté mitjançant un perfilador TD de baix cost. Aquest instrument és prou senzill perquè pugui ser utilitzat per a la recollida de dades per navegants no especialitzats en prendre mesures oceanogràfiques. A més, l'instrument ha de ser petit i tenir un pes lleuger perquè no interfereixi substancialment en el centre de gravetat i la maniobrabilitat de l'embarcació.

El perfilador TD consta de sensors de temperatura i pressió connectats a un circuit integrat Arduino Pro Mini (microcontrolador), amb tota l'electrònica i el maquinari emmagatzemats dins d'un cilindre de PVC. Els sensors utilitzats són de Blue Robotics: el sensor de temperatura té una precisió de 0,1 °C entre -5 i 50 °C i pot funcionar entre 0 - 975 m. El sensor de pressió té una precisió de 200 mbar i té un rang de funcionament de 0 - 300 m. Quan el perfilador està encès, comença a gravar dades a 1 Hz després de 10 s. Les dades es guarden, juntament amb la data i l'hora, en un fitxer de text emmagatzemat en una targeta SD.



Figura 11. Imatge del perfilador de temperatura (TD), juntament amb el cap i els pesos que s'utilitzen per a la realització dels perfils.

Durant la campanya de camp, l'SPV navega a tots els punts d'estudi, on es registra el perfil de temperatura i profunditat. Com que el FV no disposa d'electrònica ni de sistemes de navegació, el posicionament es fa mitjançant un *smartphone*. El procediment d'enregistrament del perfil de temperatura en cada punt consta dels passos següents: el vaixell s'atura a la ubicació desitjada; el perfilador TD de baix cost s'encén i es manté a la superfície durant 60 s per aclimatar el sensor de temperatura; el perfilador s'allibera fins arribar a la profunditat desitjada i després es recupera i s'apaga.

4.2.3- Perfilador CTD CastAway

L'**YSI CTD-CastAway** (CastAway™-CTD User's Manual, Octubre 2010) és un perfilador lleuger i fàcil d'utilitzar que permet realitzar mostres d'alta resolució (5 Hz) de dades de conductivitat, temperatura i profunditat (CTD de les sigles en anglès).

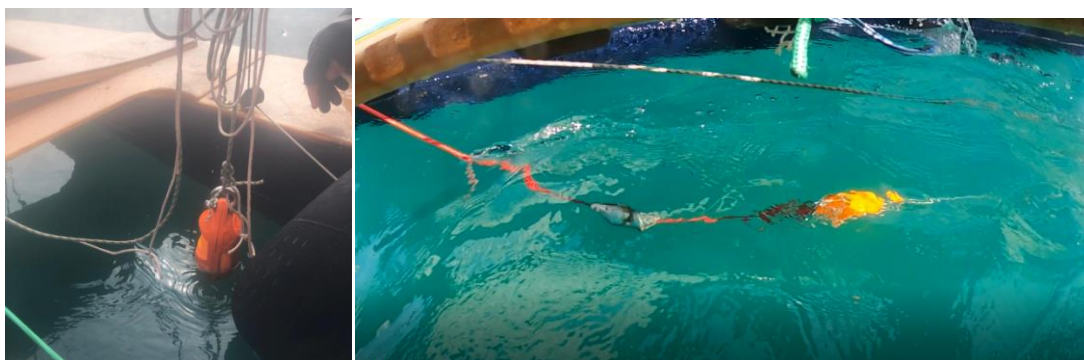


Figura 12. Imatge del CTD CastAway a punt de ser submergit per a realitzar un perfil (esquerra) i de la captura d'un vídeo que es va realitzar durant la navegació arrastrant el CTD CastAway.

Aquest instrument pesa aproximadament mig quilogram i té una mida de 30 cm de llarg x 8.5 cm de diàmetre, pel que es pot desplegar fàcilment a mà. Cada emissió es fa referència amb l'hora i la ubicació mitjançant un receptor GPS integrat. La latitud i la longitud s'adquireixen abans i després de cada perfil. Per altra banda, també permet ser arrossegat superficialment mentre el travessi un flux constant d'aigua. En les ocasions en que estem registrant trams superficials haurem d'afegir la posició GPS posteriorment, registrada mitjançant l'aplicació per mòbil de regates eStela. eStela és una aplicació inicialment pensada per la transmissió de regates en directe. També permet la senyalització de balises o punts d'un recorregut.

Les dades en brut es poden descarregar fàcilment mitjançant Bluetooth a un ordinador Windows a través del programa propi del CTD CastAway per a una anàlisi detallada i/o exportar-les en qualsevol moment.

| | TD (perfilador low-cost) | Caixa: Termosalinograf | CTD CastAway |
|-------------------------|--------------------------|------------------------|--------------|
| Juliol - Octubre | ✓ | ✗ | ✗ |
| Novembre - Gener | ✓ | ✓ | ✗ |
| Febrer - Juny | ✓ | ✗ | ✓ |

Taula 2. Distinció de tres fases del projecte del Patí Científic en que es mostra el tipus de funcionament dels diferents instruments utilitzats: el TD, el TSG i el CTD CastAway.

En la Taula 2 es pot observar l'instrumentació provada des de que l'inici del projecte: en verd quan estava en funcionament i s'obtenien dades bones, en taronja quan estava en funcionament però l'instrument presentava algun problema i les dades obtingudes no eren coherents i en vermell quan no es va treballar amb aquell instrument.

5- Metodologia

5.1- Estacions de mesura

Com es va establir a l'inici en el projecte *Patí Científic* (Ortigosa *et al.* 2022), es definiran sis estacions de mesura (anomenades del TD1 a TD6), situats en les coordenades que mostra la Taula 3 i situats sobre el mapa en la Figura 13.

| | Latitud | Longitud | Profunditat max. (m) |
|------------|-----------|----------|----------------------|
| TD1 | 41.3856 N | 2.2099 E | 23 |
| TD2 | 41.3798 N | 2.1986 E | 12 |
| TD3 | 41.3749 N | 2.1951 E | 10 |
| TD4 | 41.3806 N | 2.2029 E | 20 |
| TD5 | 41.3785 N | 2.2084 E | 28 |
| TD6 | 41.3757 N | 2.2162 E | 28 |

Taula 3. Posició de les sis estacions de mesura en la que es mostra la profunditat màxima assolida pel perfilador TD i el CTD CastAway. La profunditat total en els punts TD5 i TD6 és de 30 i 40m, respectivament.



Figura 13. Es mostren les estacions de mesura (TD1-TD6), els dos sobreeixidors on es crearà la ploma i l'estació de Meteocat del Raval.

L'estació TD1 permet l'estudi de la zona situada a l'est del Port Olímpic, punt que rep el cabal d'aigua que entra a la zona d'estudi des del nord-est i que també pot ser influenciat per un dels sobreeixidors que es poden veure al mapa (Figura 13), el de l'Espigó del Bogatell (el que es troba més dalt). El TD2 es troba davant l'altre punts d'abocament d'aigües de la ciutat marcats en la imatge; el de l'Espigó del Gas i també prop de la bocana del Port Olímpic. Tant l'estació TD2 com la TD3 són les més properes a la platja.

El TD4, TD5 i TD6 són estacions al llarg d'una línia normal a la costa, amb profunditat creixent, que permeten estudiar l'evolució de el perfil vertical de la temperatura en funció de l'augment de la distància a la costa. Aquests tres punts coincideixen amb els punts d'estudi de la campanya oceanogràfica PUDEM. A la Figura 13, també s'indica l'estació del Servei Meteorològic de Catalunya (METEOCAT) situada al barri del Raval, de la qual se'n descarregaran les dades de precipitació acumulada, intensitat del vent i temperatura de l'aire.

5.2- Campanyes

Les campanyes de mesura sempre s'organitzen seguint el protocol de campanya establert (Annex 1), el qual compta amb una sèrie de fases generals :

- La preparació prèvia a l'ICM (Institut de Ciències del Mar), on es decideix el dia òptim de sortida i es prepara tota la instrumentació (CTD CastAway i perfilador TD) i el material necessari (pesos, caps, pissarra...).
- La preparació de l'equip (neoprè, armlles salvavides...) i del patí un cop al club (CPVB), per fi la col·locació de la vela i assegurar els instruments just abans de sortir a navegar (ja a la vorera).
- El desenvolupament de la campanya (temps de navegació i realització de les mesures en profunditat i superfície).
- La recollida de tots els aparells i elements un cop tornats a la vora i al club i finalment, les activitats quan es torna a l'ICM (neteja d'instruments, descàrrega de dades...).



Figura 14. Imatge presa durant la realització d'una campanya mentre es navegava entre dues estacions.

Durant la campanya de camp, l'SPV s'anirà posicionant sobre els punts d'estudi definits, on es parerà i es registraran simultàniament els perfil de temperatura i conductivitat en funció de la profunditat amb el CTD-CastAway i amb el perfilador TD. A més, en cada estació, s'agafarà una mostra d'aigua superficial mitjançant unes ampolles que posteriorment es portaran al laboratori per analitzar-ne la salinitat i la conductivitat, amb l'objectiu de poder realitzar una futura comparació amb les dades obtingudes in situ pels instruments.

Entre estació i estació, s'arrossega el CTD-CastAway per tal d'obtenir dades superficials de conductivitat i temperatura. Com que el SPV no té sistemes electrònics ni de navegació, el posicionament s'establirà mitjançant un telèfon intel·ligent amb l'aplicació de regates eStela. Això també ens servirà per posteriorment unir els arxius de posició als fitxers de dades.

El procediment d'enregistrament consta dels passos següents: quan el patí comença a navegar, es deixa anar el CTD assegurat amb dos caps entre els dos flotadors del patí. Degut a la velocitat del propi vaixell, es manté en superfície. En condicions de vent elevat, en que el SPV adopta velocitats més ràpides, s'ha d'afegir pes al CTD perquè es mantingui submergit, ja que en cas d'anar molt superficial l'emulsió provocada pels propis pesos i l'instrument pot provocar l'entrada de bombolles d'aire a través dels sensors i alterar les mesures.

Llavors, quan es para a la ubicació desitjada; el CTD es replega i s'ajunta amb el perfilador TD mitjançant un cap fi, per tal de realitzar els perfils en profunditat. Ambdós es mantenen a la superfície durant 60 s per aclimatar el sensors i a continuació s'alliberen fins arribar a la profunditat desitjada. Quan s'ha arribat a la màxima profunditat, es recupera i s'apaga per tornar a repetir tot el procés fins haver cobert totes les estacions desitjades.

Totes les etapes estan apuntades a una pissarra per després omplir l'informe de campanya amb les dades meteorològiques (vent, etc).



Figura 15. El CTD CastAway arrossegat pel patí (esquerra) durant una campanya i la preparació del TD i el CTD per realitzar un perfil sobre l'estació de mesura (dreta).

En casos excepcionals en que el patí no pot sortir a navegar com a conseqüència de la baixa intensitat del vent, es realitza la campanya mitjançant un caiac, seguint el mateix protocol de campanya establert.

5.2.1- Període d'estudi

Per assolir l'objectiu del monitoreig de les aigües costaneres en temps real, aquest estudi es centrarà en les campanyes realitzades a partir del febrer fins al maig del 2022. Durant aquest període es va realitzar de mitjana una campanya setmanal, que durant episodis de pluja en ocasions eren dues (una anterior i una posterior), amb l'objectiu de registrar tan els perfils com els trams de temperatura i salinitat mitjançant, en primer lloc, del TSG (inici del període) i el perfilador TD de baix cost i posteriorment, obtenint dades més consistents, del perfilador TD i del CTD-CastAway (en les quals ens centrarem en aquest estudi).

Com es pot observar en la Taula 4, no totes les campanyes de camp van obtenir dades a totes les estacions. Per exemple, si les condicions meteorològiques variaven durant la campanya a causa d'una pujada o baixada extrema del vent, podia ocórrer que no es pogués completar el mostreig a totes les estacions. Per altra banda, la freqüència de les sortides també era variable segons la meteorologia i la disponibilitat de l'equip.

| DIARI CAMPANYES | | | | | |
|-----------------|-------------|-------------------|--------------------------------|---|---|
| DATA | INSTRUMENTS | EQUIP | ESTACIONS | COMENTARIS | METEO |
| 08/02/2022 | TD i TSG | Nina i Elisabet | 2, 3 i Punt aleatori | Prova del TSG, inici 11:42h i purga 12:05. Botelles SSS agafades. | Wind dir: SSW Wind sp: 3 nusos Wave: 0.7 m |
| 15/02/2022 | TD i TSG | Raúl i Elisabet | 2, 3, 5, 6, 1 i 4 | L'arxiu TD6 no va sortir. Botella del punt 1 buida. TSG bomba (max. pot.) inici 11:36h i purga 12:11h | Wind dir: 280/230º Wind sp: 3 nusos Wave: 0.2 m |
| 17/02/2022 | *PUDEM; TD | Equip PUDEM | PUDEM: 1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 1.5 | Es surt a validar el TD en una campanya de la PUDEM | No anotada |
| 23/02/2022 | TD | Ignasi i Elisabet | 1, 2, 3, 4 | **KAYAK. TSG trencat. Només han sortit 3 arxius de 4; problemes identificar. Botelles SSS agafades | Wind dir: 280/230º Wind sp: 3 nusos Wave: 0.2 m |

| | | | | | |
|----------------------|--------------------------------------|------------------|--------------------------------|---|--|
| 04/03/2022 | CTD Cast-Away (perfils i superfície) | Nina i Elisabet | 2, 3, 4 i 5 | Primer dia de prova del CTD; perfils i arrossegant (5 trams) | No anotada |
| 08/03/2022 | CTD Cast-Away i TD (FNB) | Oriol i Elisabet | 2, 3, 4 i 5 | Perfils amb CTD i TD i arrossegament del CTD (5 trams). Botelles SSS agafades. Pluja: gotetes | Wind dir: NNW/WSW Wind sp: 0-1.7 nusos Wave: 0.4/0.5 m |
| 10/03/2022 | CTD Cast-Away i TD (FNB) | Oriol i Elisabet | 3, 4 i 5 | **KAYAK. Perfils amb CTD i TD i arrossegament del CTD (4 trams). Botelles SSS agafades. Dia anterior de pluja suau | No anotada |
| SETMANES DE TORMENTA | | | | | |
| 29/03/2022 | *PUDEM; CTD Cast-Away | Equip PUDEM | PUDEM: 1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 1.5 | Perfils del CTD Cast-Away juntament amb els perfils del CTD SBE de la PUDEM | No anotada |
| 01/04/2022 | CTD Cast-Away i TD | Oriol i Elisabet | Punt 2,3,5 i 4 | Perfils amb CTD i TD i arrossegament del CTD (5 trams). Botella SSS punt 3 perduda. Dia anterior tarda pluja intensa (ploma a les 18h). Temperatures baixes per front polar | Wind dir: 280° Wind sp: 10-12 nusos Wave: 0.4m |
| 05/04/2022 | CTD Cast-Away i TD | Oriol i Elisabet | Punt 2,3 i 4 | Perfils amb CTD i TD i arrossegament del CTD (4 trams). El fitxer TD3 no ha sortit, tampoc el tercer tram. Dia assoleiat | Wind dir: SE Wind sp: 3 nusos Wave: 0.5 m |
| SETMANA SANTA | | | | | |
| 19/04/2022 | CTD Cast-Away i TD | Oriol | Punt 2,3,5 i 4 | La bateria del CTD s'acaba durant el primer tram de mesura de superfície. Es fan només perfils TD. Com que no hi ha mesures de salinitat, no s'agafen mostres d'aigua amb les ampolles. | Wind dir: 45° - NE Wind sp: 3-5 nusos Wave: 0 |

| | | | | | |
|------------|--------------------|------------------|------------------|---|--|
| 22/04/2022 | CTD Cast-Away i TD | Oriol | Punt 2,3,6,5 i 4 | Es fa un sol tram de mesura en continu, que dura tota la campanya. Per les condicions de vent i onada i al ser només una sola persona, en els punts de perfils es fa només TD, i es deixa el CTD mesurant en continu. NO es guarda cap TD a la SD!! Dia anterior de ploma | Wind dir: 180-215 / S-SW Wind sp: 9-13 nusos Wave: 1,5 m |
| 27/04/2022 | CTD Cast-Away i TD | Oriol i Elisabet | Punt 2,3,5 i 4 | En el TD4 es va desenganxar l'iman i només es tenen dades del primer metre. L'arxiu TD2 només agafa les dades de baixada del perfil. Sembla que falta l'arxiu del quart perfil. | Wind dir: S Wind sp: 1-3 nusos Wave: 0 m |
| 02/05/2022 | CTD Cast-Away i TD | Oriol | Punt 2 i 4 | El TD no grava dades, surten 2 perfils CTD. Es passa per sobre una zona d'aigües brutes entre les 12:30-12:40 aprox., prop del punt 4 | Wind dir: ENE 45º Wind sp: 0-2 nusos Wave: 0 m |
| 06/05/2022 | CTD Cast-Away | Nina i Elisabet | Punt 6 | Degut a que es va haver de parar molt de temps després de fer el perfil 6 per modificar els pesos i feia moltes ones, posteriorment només es varen fer uns quants trams per tornar a la platja (les interrupcions entre i entre es devien a la modificació dels pesos) | Wind dir: S/SE Wind sp: 4 kts Wave: |
| 13/05/2022 | CTD Cast-Away | Oriol i Nina | Campanya PUDEM | Es varen seguir els mateixos punts que la PUDEM però amb el patí. No es varen agafar mostres d'aigua | No anotada |

| | | | | | |
|------------|-----------------------|------------------|-------------------------|--|---|
| 17/05/2022 | CTD Cast-Away i TD | Oriol i Elisabet | Punts 2 i 3 | No es graven els perfils al perfilador TD. Al CTD sí. Perfils dels punts 2 i 3, superfície passant per 2,3, 4 i 5, ja que hi havia regata i no ens podíem parar. Dies de pujada de temperatura. | Wind dir: E Wind sp: 4-7 kts Wave: 0,1 m |
| 23/05/2022 | CTD Cast-Away i TD | Oriol i Nina | Punt 2, punt 3 i punt 4 | El TD torna a funcionar. En el TD2 no es grava bé el perfil CTD. No es fa mesura de superfície sortint de la platja per evitar que el ctd s'enganxi amb les boies del canal de sortida. Els trams de superfície comencen després del primer perfil del punt 2. En la tornada a terra el ctd s'apaga abans d'arribar a les boies. Cap de setmana anterior de temperatures molt altes per aquesta època de l'any | Wind dir: SE Wind sp: 3-8 kts Wave: 1 m |
| 25/05/2022 | CTD Cast-Away (KAYAK) | Oriol i Elisabet | Punts 2 i 4 | Dia anterior de pluja abundant i PLOMA, en el moment gotetes i molta brutícia | Wind dir: NNW Wind sp: 7 nusos Wave: 0.3m |

Taula 4. Diari de campanyes

Durant el període d'estudi, es varen realitzar un total de 19 campanyes. Es varen produir dues interrupcions destacables degut per una part a forts episodis de tempesta que impossibilitaven la navegació (de mitjans a finals de març) i per altra banda, durant les vacances de Setmana Santa, en que l'equip no estava disponible.

En les gràfiques (Figura 17) es pot observar les condicions meteorològiques i d'onatge que hi havia durant les campanyes. Les dades de temperatura de l'aire (°C), pressió mitjana (hPa), precipitació acumulada (mm) i intensitat de vent (m/s) varen ser descarregades del Servei Meteorològic de Catalunya (www.meteo.cat) en forma de dades horàries. A partir d'aquestes, es va realitzar un promig diari del febrer al maig del 2022 per la temperatura de l'aire i la pressió, mentre que en el cas de la precipitació es va calcular la quantitat acumulada diària i en el cas del vent es va extreure el màxim diari.

Per altra banda, també era interessant obtenir dades d'alçada d'ona, ja que juntament amb el vent són els paràmetres que més alternen la navegació i també la mescla de l'aigua. Aquestes varen ser baixades de la plataforma de Puertos del Estado (www.puertos.es), en concret de l'estació "Boia de Barcelona II".

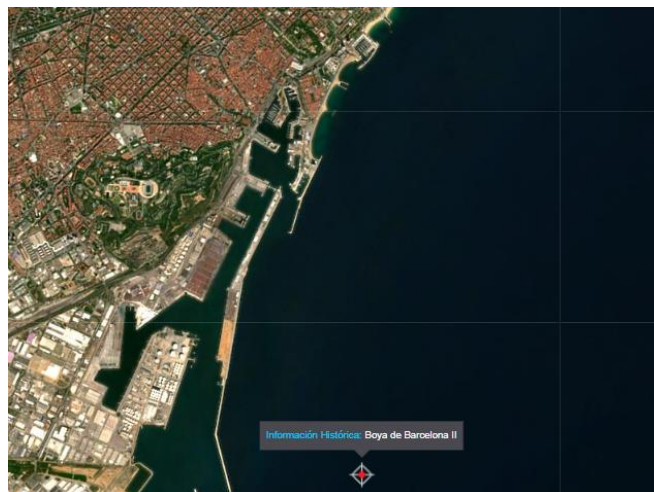


Figura 16. Localització de la Boia de Barcelona II de Puertos del Estado – Font: Web de Puertos del Estado (puertos.es).

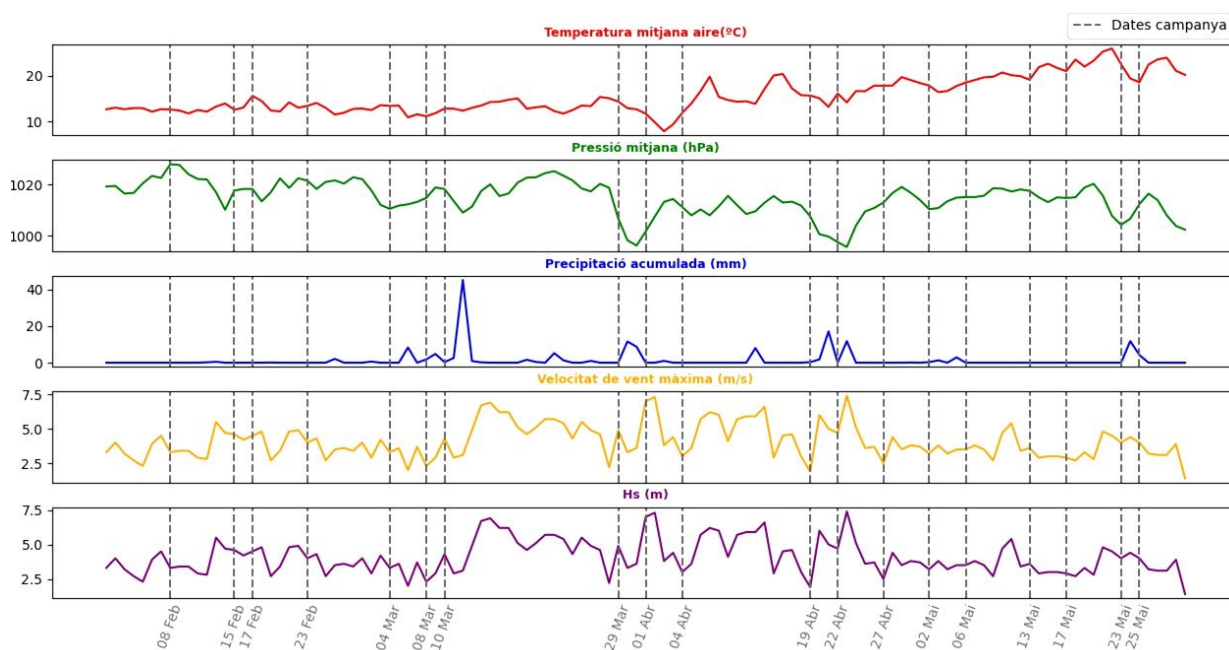


Figura 17. Condicions meteorològiques i d'onatge en el període d'estudi. En línies discontinúes grises es marquen les dates en que es va realitzar campanyes

5.2.2- Estudi de formació de plomes

Com s'ha comentat amb anterioritat, aquest estudi no pretén únicament obtenir dades consistents dels paràmetres físics de l'aigua, sinó d'identificar plomes formades per l'aigua dolça alliberada davant la platja del Somorrostro en situacions de pluges intenses. La comprensió del funcionament dels corrents a petita escala en la zona d'estudi aportada per Antonijuan *et al.*, 2011, ens ajudarà a predir quines possibles trajectòries seguiran les plomes formades en front del sobreixidor de l'Espigó del Gas durant episodis de pluja (Nord-est en època d'hivern i Sud-est a partir de març).

Serà de gran importància estudiar en quines condicions meteorològiques i d'onatge es pot observar aquest fenomen, per tal de preveure en quines situacions seria convenient sortir a mesurar. Això es farà ampliant l'estudi ja realitzat amb dades meteorològiques més recents per a conèixer en quines condicions es poden visualitzar plomes, per tal de planificar les campanyes amb antelació. Les dades proporcionades serviran per completar la feina feta en el treball de 2001 a 2006, estudiant episodis de producció de plomes entre el 2016 i el 2021 durant els mesos de febrer, març, abril i maig i per tant veure si s'obté relació entre l'observació de plomes i la quantitat de pluja i intensitat de vent de cada episodi, per així planificar les campanyes de mesura amb el SPV.

En primer lloc, a partir de les dades meteorològiques obtingudes del Servei Meteorològic de Catalunya del 2016 i el 2021, es va realitzar una identificació dels episodis de pluja durant aquest període (fent una selecció dels dies en que s'observen pics de pluja acumulada).

Es varen guardar aquestes dates en un arxiu, juntament amb les condicions de temperatura de l'aire, pluja acumulada, vent màxim i pressió atmosfèrica.

A més, també es va obtenir l'alçada d'ona significant (H_s) de la Boia de Barcelona II de Puertos del Estado per a cada una de les dates registrades.

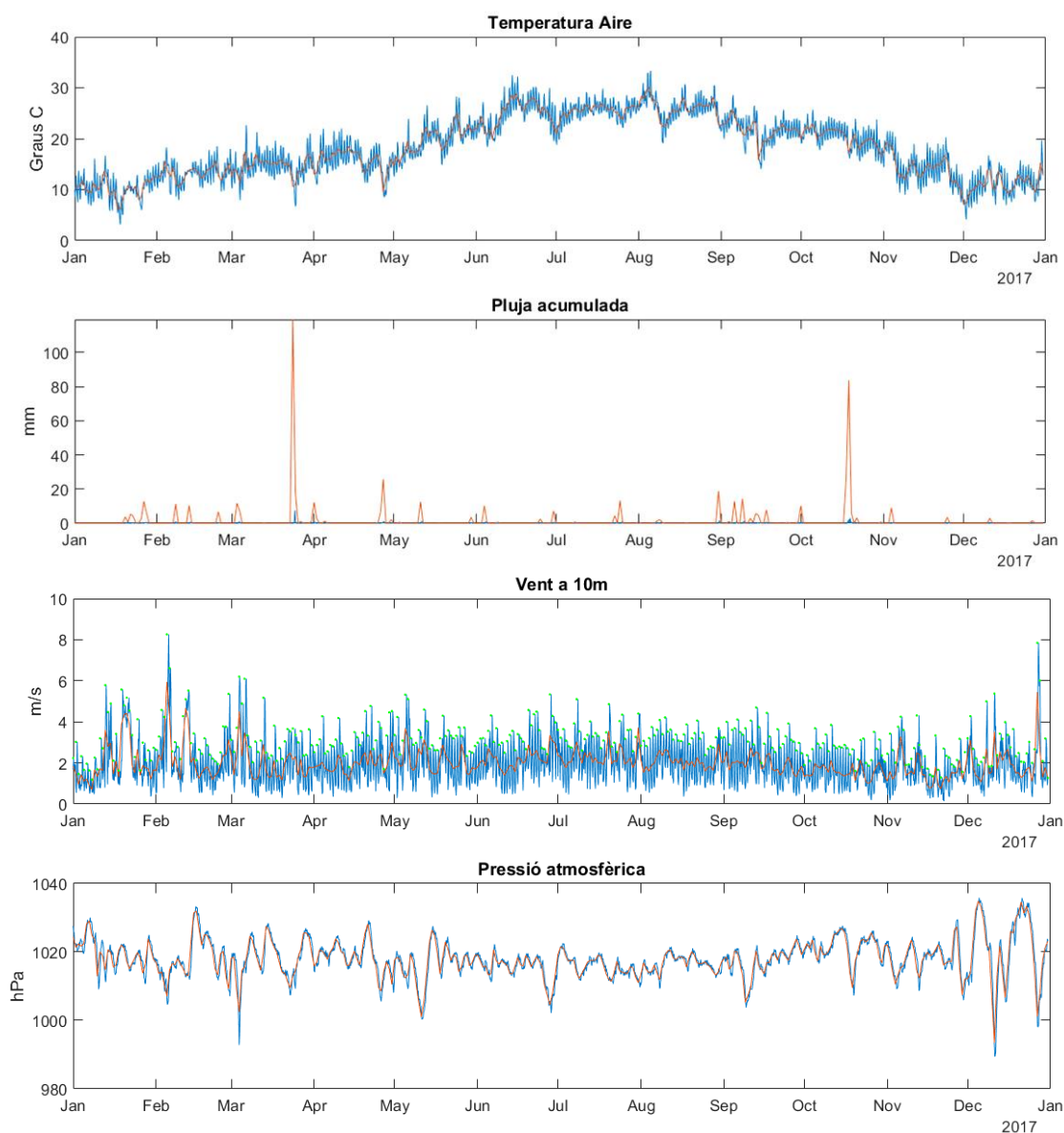


Figura 18. De dalt a baix: temperatura de l'aire ($^{\circ}\text{C}$), precipitació acumulada (mm), velocitat del vent a 10m (m/s) i pressió atmosfèrica (hPa) per a l'any 2020.

Per altra banda, un cop caracteritzats els diferents episodis de pluja, es varen analitzar les imatges horàries de l'observatori COO de l'ICM-CSIC [13], les quals ofereixen una visió general de l'àrea d'estudi, en concret del sobreeixidor de la platja del Somorrostro, convertint-se en una eina visual molt útil per a la identificació de plomes. Es va procedir a seleccionar els dies anteriors als episodis de pluja i el moment de precipitació màxima per tal d'observar en quines condicions s'observava formació de ploma i en quines no.



Figura 19. Exemple de dues situacions de pluja; en la primera, el 2 de maig de 2017, no s'observa ploma, mentre que en la segona, l'11 de maig de 2017, sí que es pot observar.

Amb la intenció de veure si existia una relació entre els episodis d'observació de ploma (que ens interessa mesurar en les campanyes) i les condicions meteorològiques (quantitat de precipitació, vent màxim i Hs), es va dissenyar un programa per ajuntar totes les dades d'interès on també s'incorporava una variable binària (si/no) corresponent a si es formava ploma en aquelles condicions (Figura 20 i Figura 21). En ambdós casos es podia observar que en condicions d'intensitat de vent elevades (major que 4.4 m s⁻¹ i 5.2 m s⁻¹) i alçades d'ona majors a 1.5-2 m es produïa mecanisme de mescla de l'aigua i l'entrada d'aigua dolça des de terra no es podia observar en forma de ploma.

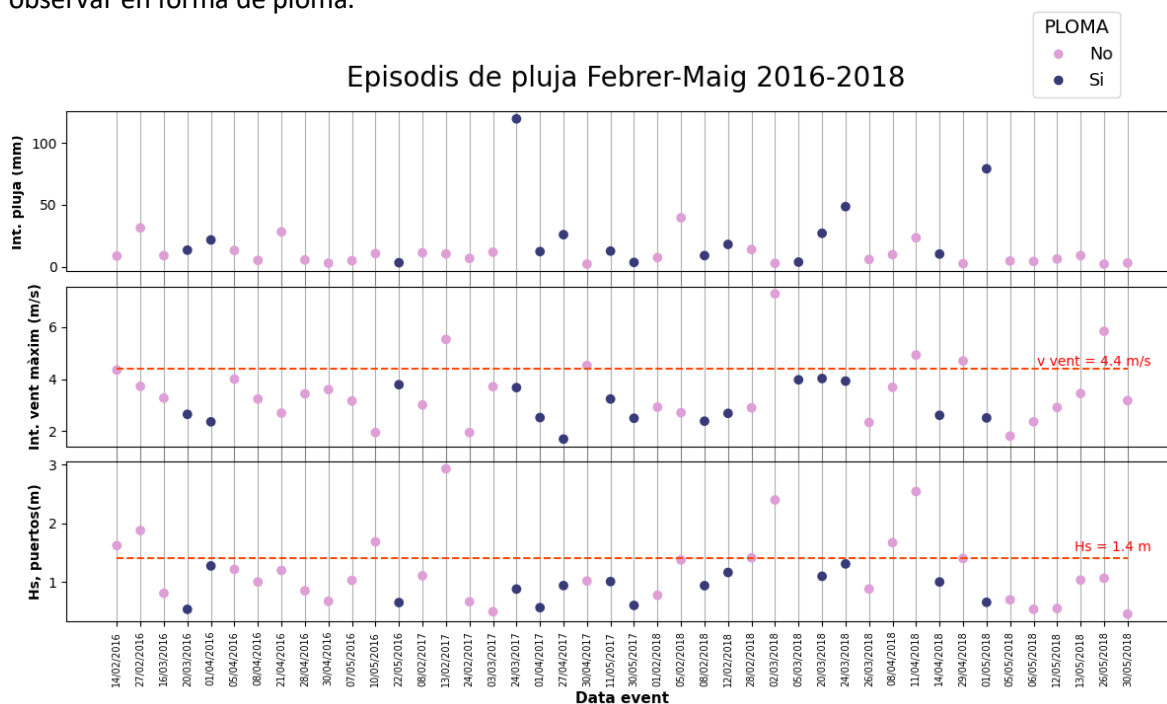


Figura 20. Episodis de pluja dels mesos de febrer, març, abril i maig del 2016 al 2018. En l'eix horitzontal, data en que va ploure, en l'eix vertical, de dalt a baix: intensitat de pluja en mm, intensitat de vent màxima (m/s) i alçada d'ona significativa (m). En lila fluix, es marquen els episodis en que no es va observar ploma, en lila fort, en els que sí que es va observar.

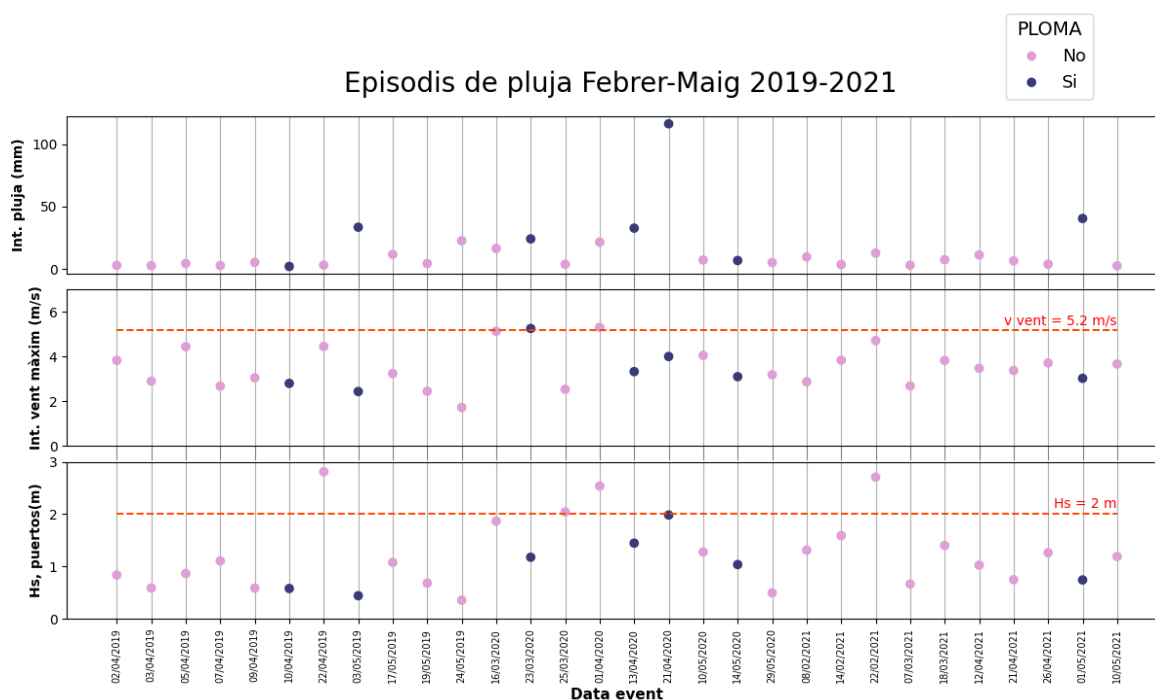


Figura 21. Episodis de pluja dels mesos de febrer, març, abril i maig del 2019 al 2022. En lila fluix, es marquen els episodis en que no es va observar ploma, en lila fort, en els que sí que es va observar.

Per tal d'il·lustrar el fenomen de les plomes tan característic de la zona d'estudi però també difícil d'observar, es mostra l'exemple de l'última campanya realitzada en el marc d'aquest treball, la del 25 de maig de 2022. El dia 24 de maig hi havia previsió d'episodis de pluja i per aquesta raó, es va sortir també el dia anterior, per tal de poder observar els canvis posteriors a l'episodi. Efectivament, el 24 de març es varen acumular uns 18 mm de pluja i a les 18h de la tarda (última hora en que hi ha imatges disponibles) es començà a observar la formació de la ploma (imatge), que segurament es va allargar durant la nit. Al matí següent es va sortir a mesurar per tal de tenir dades posteriors a aquest fenomen i poder detectar si s'havia notat en la temperatura i la salinitat de l'aigua.

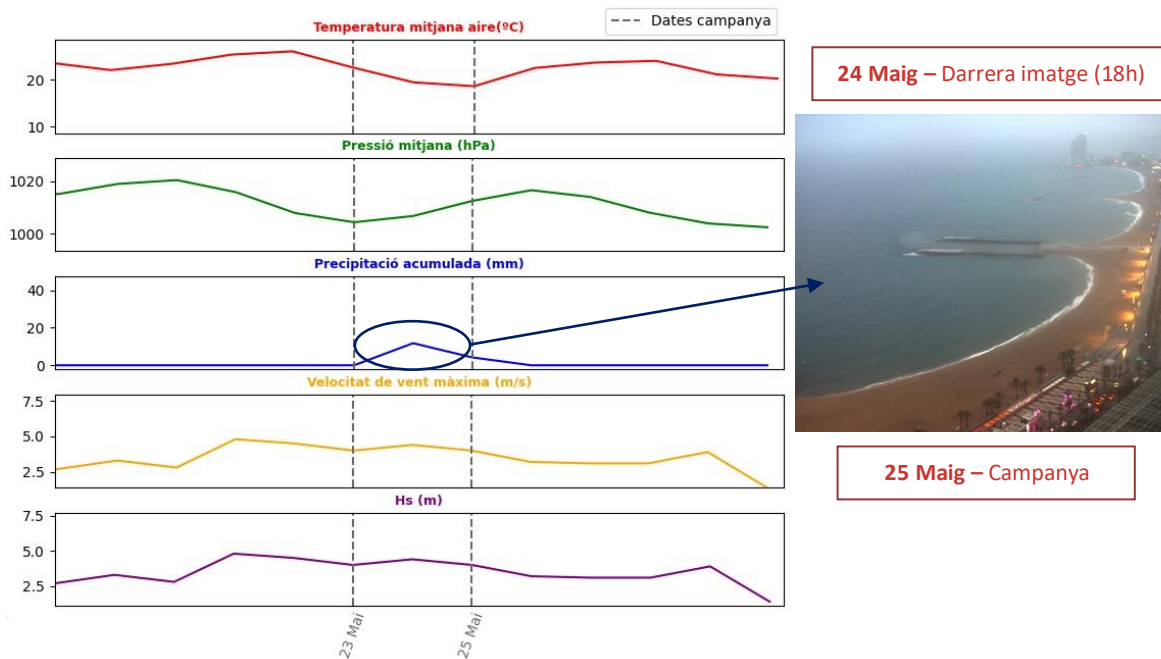


Figura 22. Ampliació de les condicions de les campanyes del 23 i el 25 de maig (esquerra) i de la formació de ploma a les 18h del 24 de maig.

5.3- Tipologia de les dades

5.3.1- Dades del perfilador TD

Les dades obtingudes del perfilador TD de baix cost tenen un format DAT, de les quals es pot extreure la temperatura (°C) en funció de la pressió (dBar). Es tindrà un arxiu per a cada una de les estacions en que s'hagi desplegat l'instrument. Aquestes són emmagatzemades a la targeta SD del perfilador TD.

5.3.2- Dades del perfilador CTD CastAway

D'aquest CTD obtindrem dos tipus de dades en format CSV (opció de descarregar en diversos formats): dades de temperatura, salinitat i conductivitat en funció de la profunditat (quan es realitzen perfils) i en funció del temps (quan s'arrossega el CTD per tal d'obtenir dades de superfície).

L'aplicació CastAway-CTD ofereix diferents opcions de descàrrega: RAW, PRO, UP i DOWN (veure Annex 3).

Com s'explicarà a continuació, s'utilitzaran les dades brutes (RAW) per a obtenir resultats de variacions superficials i les dades del perfil de pujada (UP) en el cas dels perfils en profunditat de temperatura i salinitat.

5.3.4- Dades del perfilador CTD SBE (PUDEM)

Les dades de perfils de temperatura i salinitat obtingudes mitjançant el CTD SBE durant les campanyes PUDEM, es descarreguen en format HEX. No obstant, per tal de poder realitzar comparacions amb els resultats obtinguts amb l'SPV, s'agafaran les dades processades corresponents als perfils de pujada.

5.4- Validació i processat de dades

5.4.1- Validació de les dades del perfilador CTD CastAway

El CTD-CastAway utilitzat en totes les campanyes del SPV a partir del març va ser validat mitjançant la comparació amb les dades del CTD SBE utilitzat en la campanya PUDEM del 29 de març de 2022. Es va aprofitar aquesta sortida per a desplegar el CTD CastAway juntament i alhora que el de la PUDEM al llarg de les quatre estacions definides en aquesta campanya.



Figura 23. CTD CastAway juntament amb el CTD SBE de la PUDEM, el dia 29 de març de 2022, quan es varen realitzar perfils conjunts per a la posterior validació.

La comparació d'ambdós instruments no es va poder fer de manera immediata, donat que les dades processades del primer presentaven una freqüència de mostreig de pressió de 0.3 dBar, mentre que el segon era de 0.5 dBar. És per aquesta raó que es va haver de retreballar amb les dades brutes del CTD CastAway; en primer lloc, es va definir un vector de la màxima pressió fins al final per obtenir només el perfil de pujada i a continuació es va programar un bucle que permetés

promitjar el vector per obtenir una dada cada 0.5 dBar. També es va haver d'afegir la conversió a salinitat (Annex 2). Per veure si el promitjat s'havia realitzat correctament, es va realitzar una comparació d'aquest amb les dades de pujada processades que ofereix la pròpia aplicació del CTD CastAway (Figura 24).

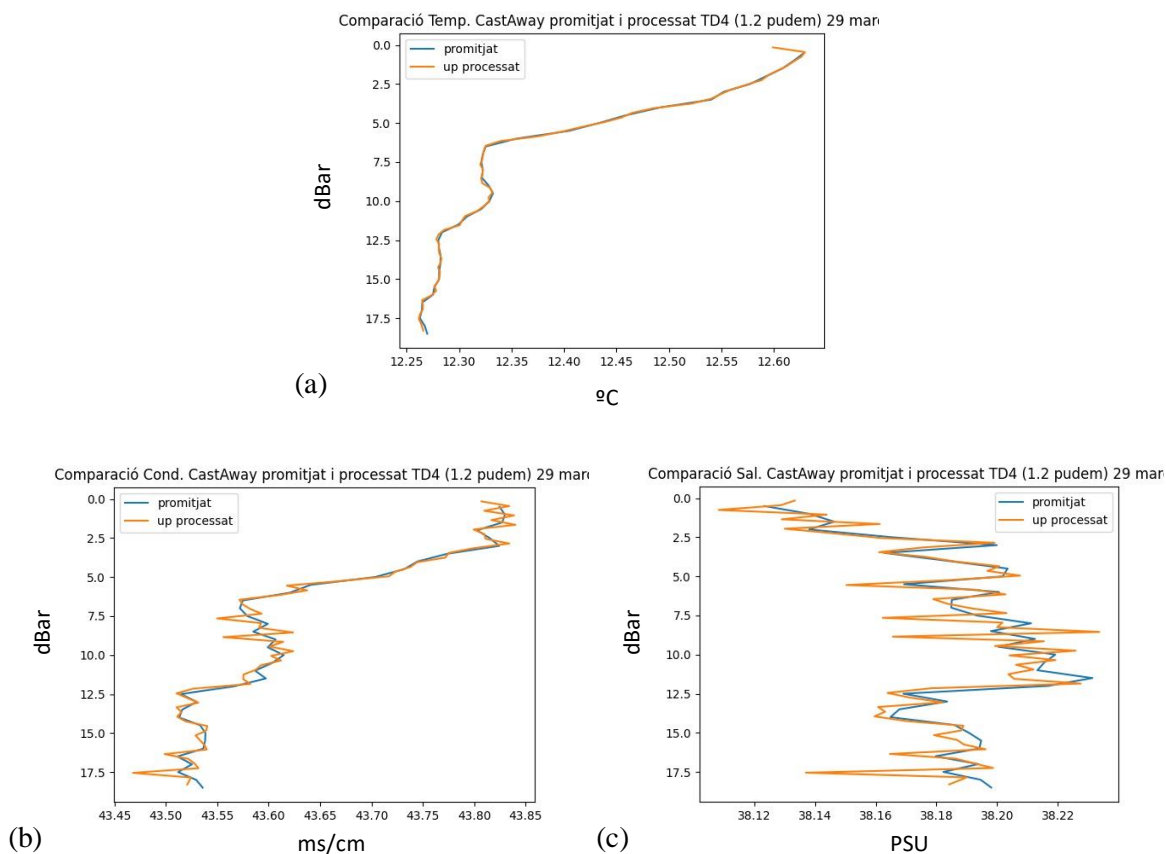
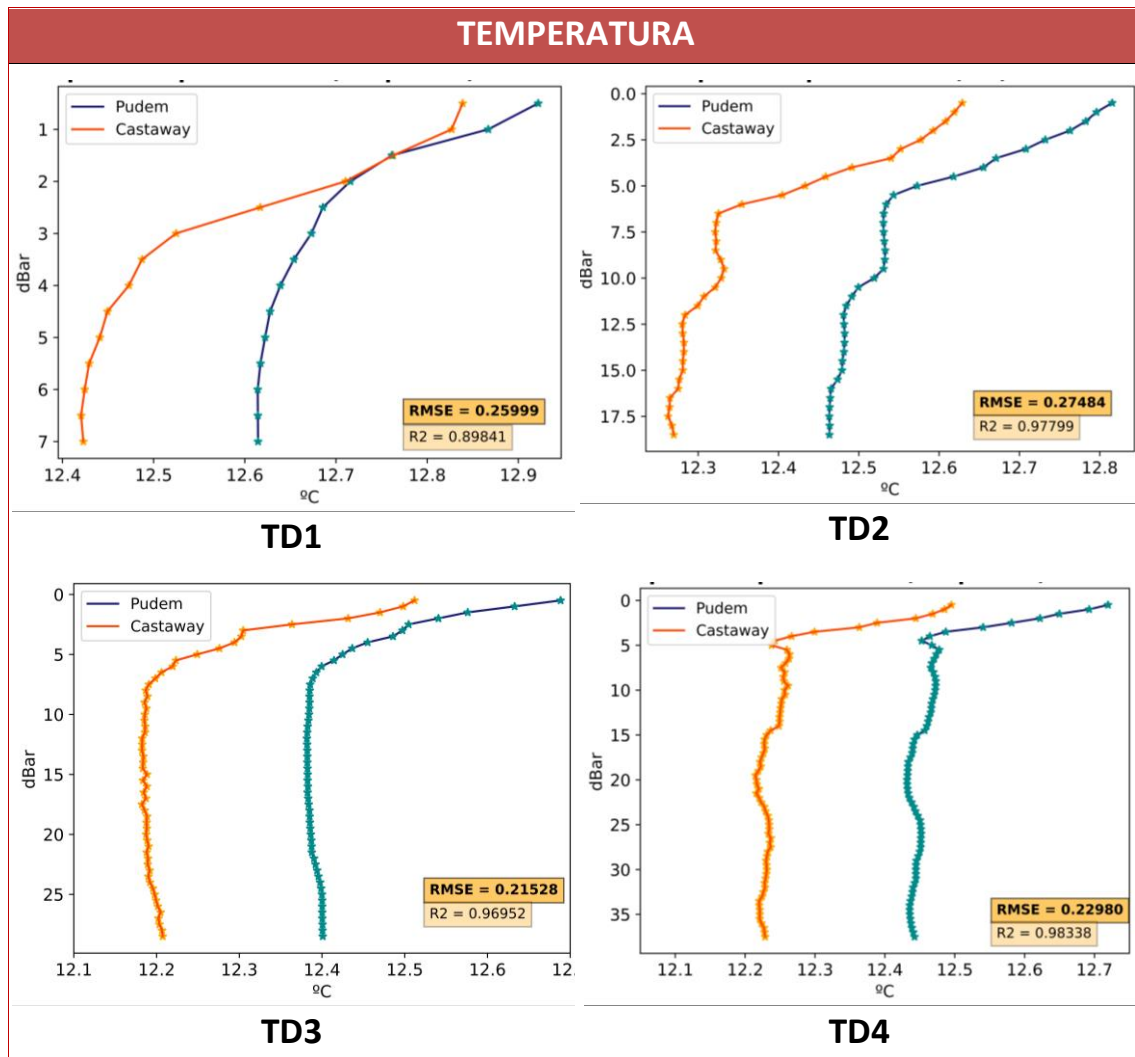
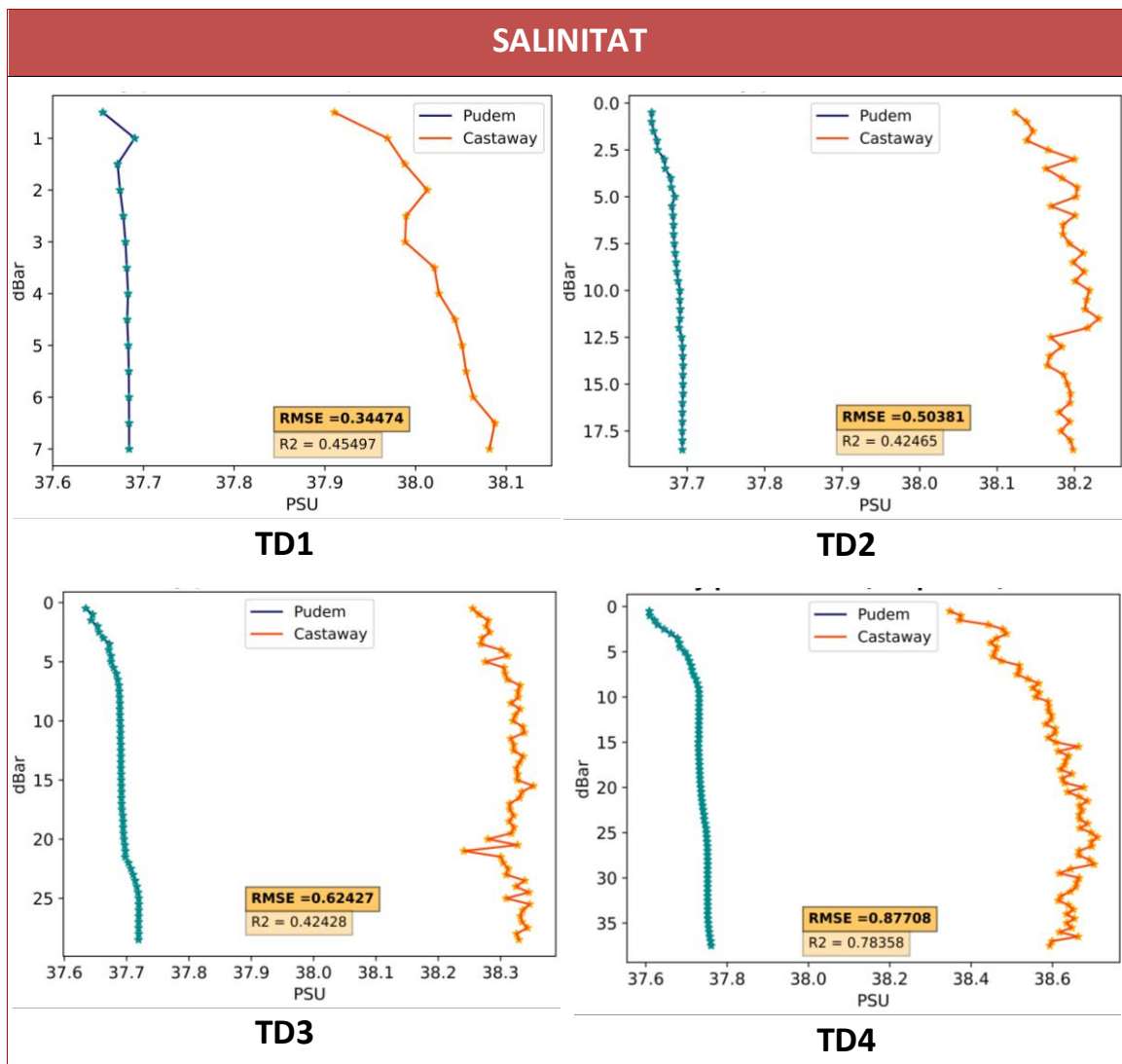


Figura 24. Exemple de la comparació dels perfils processats i promitjats del CTD CastAway de: (a) temperatura, (b) conductivitat i (c) salinitat, per a l'estació TD4.

Un cop comprovat que el promitjat era correcte, es varen crear perfils comparatius d'ambdós CTD tant per la temperatura, com per la conductivitat i la salinitat en funció de la pressió. A més, es va calcular l'error quadràtic mig (RMSE) i el coeficient de determinació (R^2) (Wright, 1921) de cada una de les estacions on els dos aparells varen mesurar conjuntament. Això dóna una idea de la diferència en profunditat d'ambdós instruments i de la similitud de la seva forma, amb l'objectiu de poder aplicar correccions posteriors en el cas de que sigui necessari.





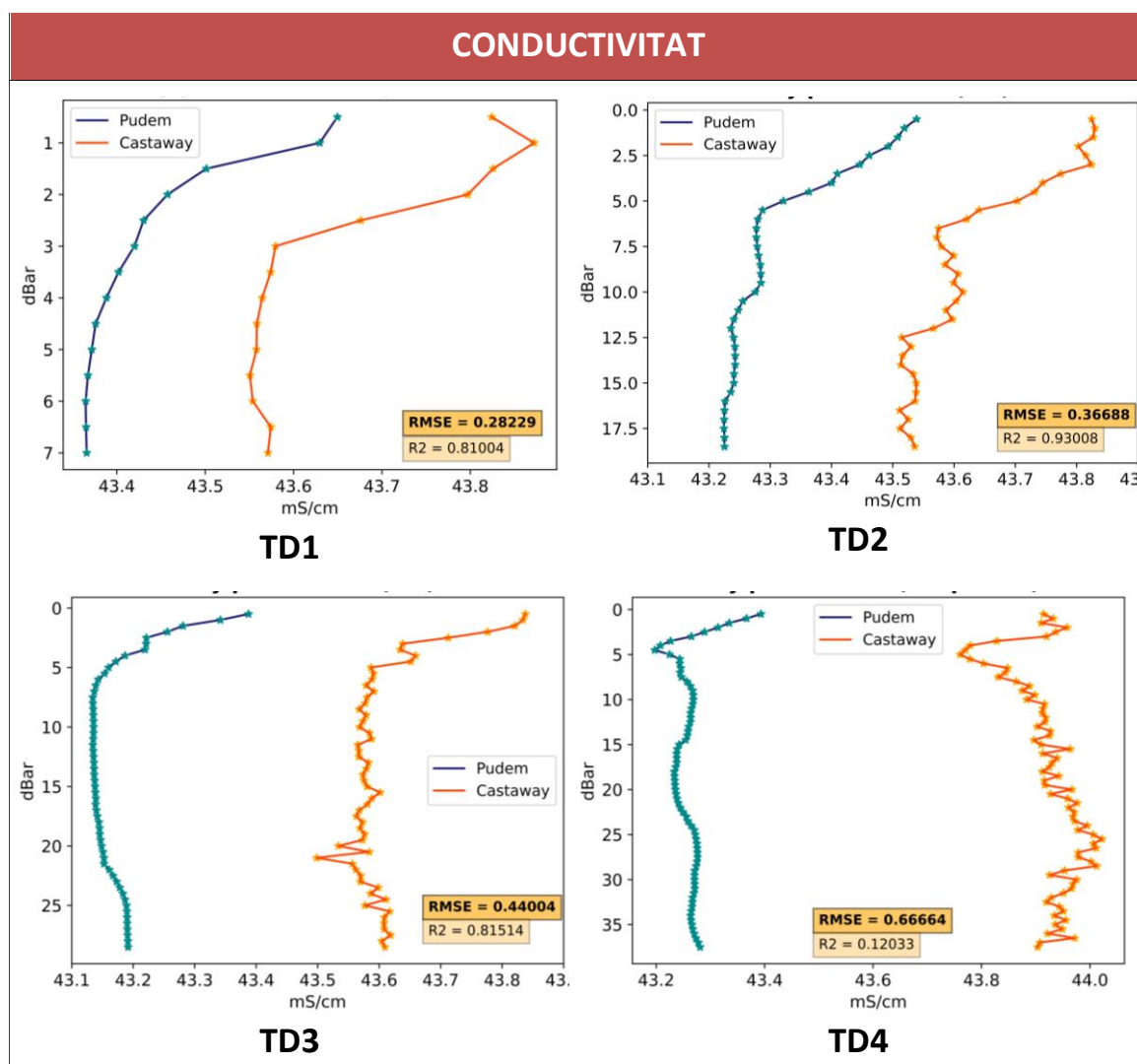


Figura 25. Comparació dels perfils CTD SBE i del CTD CastAway obtinguts el 29 de març, juntament amb l'error quadràtic mig i el coeficient de determinació. En la primera subtaula es tenen els perfils de temperatura, en la segona de salinitat i en la tercera de conductivitat.

S'observa que en tots els casos els perfils mostren un biaix entre sí, però tenen formes similars. La mitjana de tots els errors mitjans quadràtics i dels coeficients de determinació es mostra en la Taula 5, valors que posteriorment s'utilitzaran per aplicar correccions en les mesures preses mitjançant el CTD CastAway.

| | Temperatura | Salinitat | Conductivitat |
|---------------------|---------------|-----------------|-------------------|
| Mitjana RMSE | 0.24497966 °C | 0.587476862 PSU | 0.438962742 mS/cm |
| Mitjana R2 | 0.957329559 | 0.521870313 | 0.668900183 |

Taula 5. Promig dels errors quadràtics mitjos i dels coeficients de determinació del CTD SBE i el CTD CastAway

5.4.2- Validació de les dades del perfilador TD

Un procés similar de validació s'ha seguit amb el perfilador de temperatura (TD); un cop aplicada una correcció de +0.25 °C al CTD CastAway, es varen aprofitar les dades obtingudes simultàniament per ambdós instruments durant tres campanyes del SPV en que el TD mostrava funcionament correcte: el 8 de març, el 5 d'abril i el 8 d'abril.

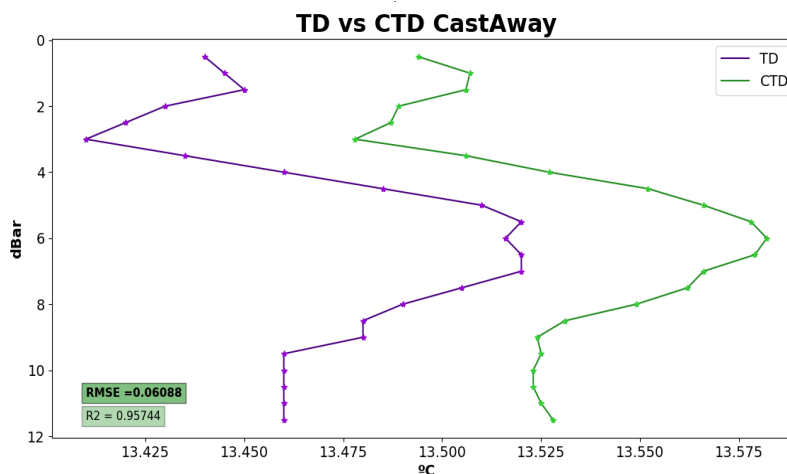


Figura 26. Comparació del perfil de temperatura a partir del perfilador TD i del CTD CastAway juntament amb l'error quadràtic mig i el coeficient de determinació. Exemple per al dia 8 d'abril.

| Temperatura | |
|--------------|----------------|
| Mitjana RMSE | 0.048664452 °C |
| Mitjana R2 | 0.967449067 |

Taula 6. Promig dels errors quadràtics mitjos i dels coeficients de determinació de la temperatura mesurades a partir del perfilador TD i del CTD CastAway corregit

El resultat d'aquesta comparació és molt prometedora, ja que l'error mitjà és menor que 0.05 °C (inferior a la precisió del sensor) i el coeficient de determinació és molt proper al màxim (és a dir, 1).

5.4.3- Comparació dades processades i no processades: Cas CTD

Una de les qüestions que s'han hagut de respondre degut a que l'aplicació CastAway-CTD ofereix múltiples opcions de descàrrega (ANNEX 3), inclòs un processat automàtic, és quin tipus de dades volem utilitzar segons cada una de les finalitats que es volen assolir. Per aquesta raó es va realitzar una comparació de les dades brutes i de les dades processades pel software, per tal de decidir si el processat ofert per l'aplicació seguia els criteris desitjats.

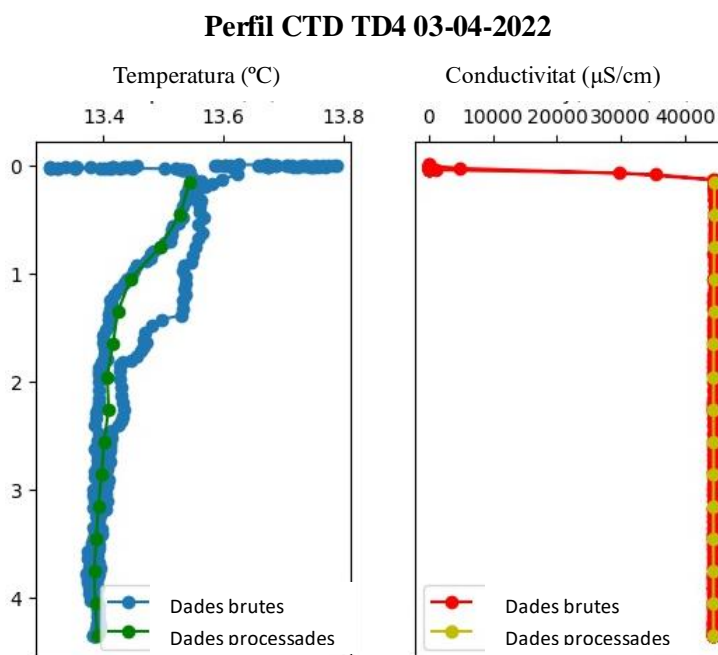


Figura 27. Comparació dels perfils bruts del CTD CastAway amb els perfils processats per la mateixa aplicació.

Com s'observa en la Figura 27, el processat dels perfils és òptim per al treball que es vol realitzar, ja que realitza un promitjat suavitzat de les dades a cada 0.3m de profunditat. Per tant, es va decidir treballar directament amb les dades de pujada processades de l'aplicació (Annex 3) per tal d'observar l'evolució de la distribució de la temperatura i de la salinitat a la columna d'aigua en funció del temps, en cada una de les estacions de mesura, així com realitzar una comparació amb els perfils de referència obtinguts de la PUDEM.

5.4.4- Processat de les dades del perfilador TD

Des de que va incorporar el perfilador TD en el projecte del Patí Científic, les dades brutes obtingudes amb el perfilador TD es publiquen al repositori de dades Zenodo (<https://zenodo.org/>). És per aquesta raó que el primer que es fa és transformar les dades a format CSV incloent la metadata requerida, mitjançant el suport de la llibreria de Python Mooda (<https://github.com/rbardaji/mooda>).

Posteriorment, a cada una de les mesures del perfilador TD en brut, es va aplicar un control de qualitat específic, adaptat del processat de dades oceanogràfiques d'un CTD comú i d'observacions específiques durant el creuer SPV. Durant el processat de dades, s'assigna un valor numèric 'flag' de qualitat a cada mesura (Taula 7).

| Flag | Definició | Abreviació |
|------|---|---------------------------|
| 0 | No s'ha aplicat cap control de qualitat als valors. És l'estat inicial de tots els valors de dades que entren a l'arxiu de treball | Sense control de qualitat |
| 1 | Dades de bona qualitat que no formen part de cap mal funcionament identificat de l'instrument i s'han verificat com a coherent amb fenòmens reals durant el procés de control de qualitat | Bo |
| 2 | El valor ha estat derivat mitjançant interpolació d'altres dades del conjunt | Interpolat |
| 3 | El valor de les dades es reconeix com a inusual durant el control de qualitat, possiblement incompatible amb fenòmens reals | Sospitos |
| 4 | La dada té un valor impossible, òbviament erroni | Dolent |
| 9 | El valor no existeix, NaN | No existeix |

Taula 7. Control de qualitat aplicat durant el processat de dades del TD – Font: Traduïda de la taula 2 de Ortigosa *et al.* 2022

Les dades es consideren “dolentes” (flag = 4) si es produeix una de les situacions següents: (i) les dades corresponen als primers 10 s després de l'encesa, ja que el sensor de temperatura necessita temps per estabilitzar-se; (ii) les dades es troben entre la superfície i 1 m de profunditat; (iii) un valor de temperatura està massa lluny dels valors mitjans propers, i el criteri escollit és que la diferència de dades amb el valor mitjà és superior a quatre vegades la desviació estàndard. Les dades es marquen com a "sospitoses" (flag = 3) si ens trobem amb una de les accions següents: (i) la velocitat de baixada és inferior a 0,2 m/s, la qual cosa pot provocar múltiples valors a una sola profunditat; (ii) observem un bucle al perfil a causa del moviment de l'embarcació. Finalment, les dades considerades bones (flan = 1) són promitjades cada 0,2 m per tal de crear un perfil de temperatura amb mostreig regular. Quan falten dades, s'aplica una interpolació i les dades es marquen (flag = 2).

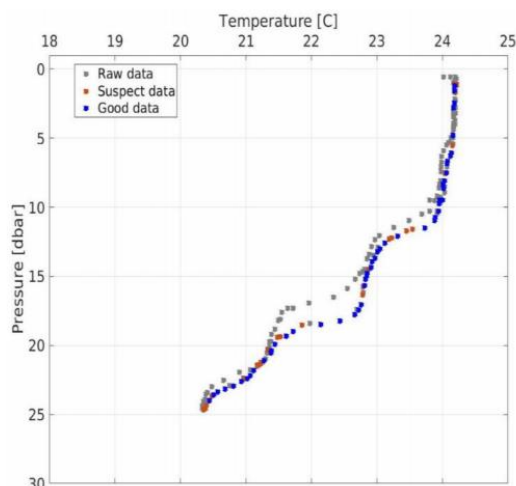


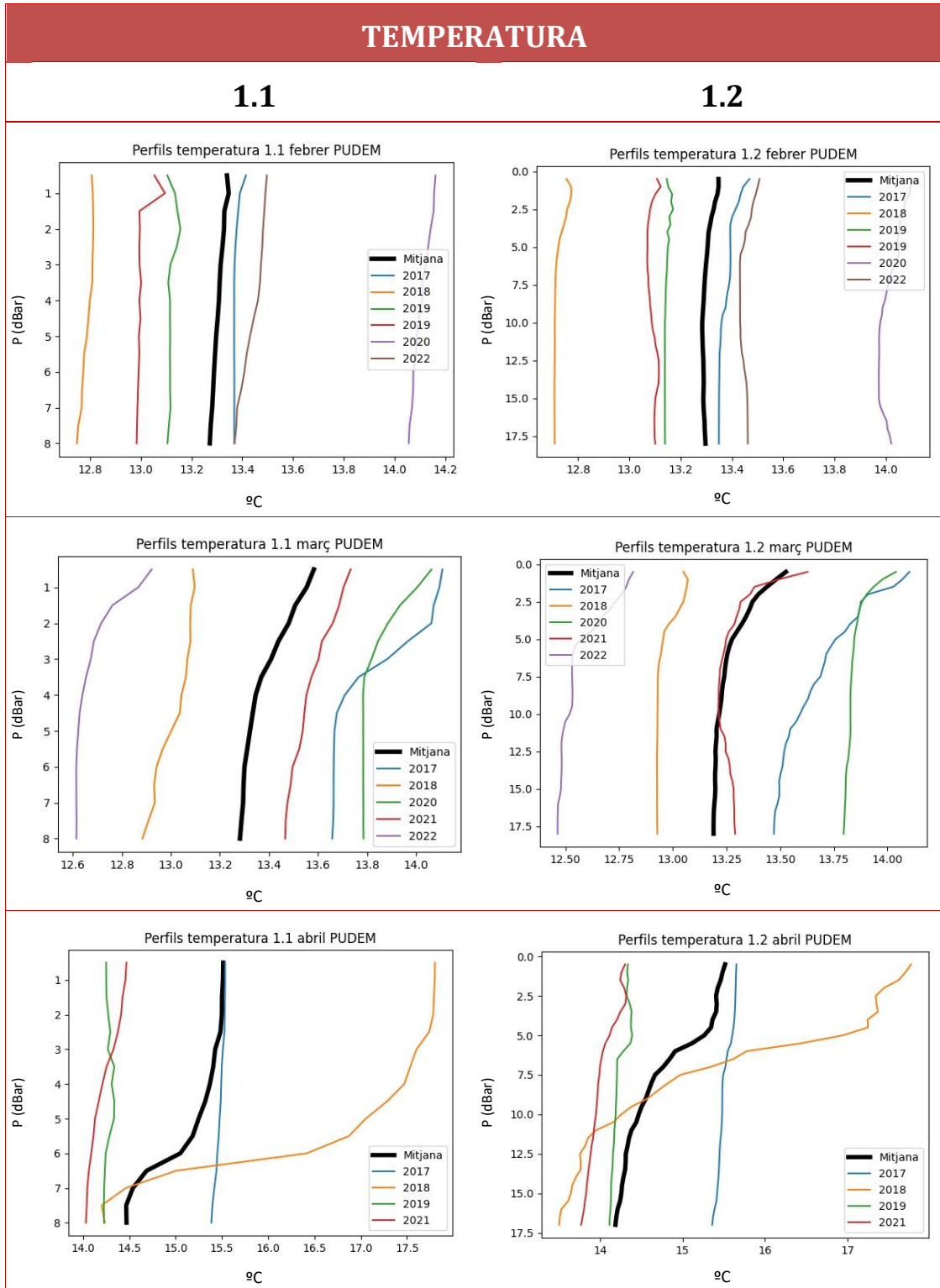
Figura 28. Perfil TD de l'estació TD5 (1 Octubre 2021) després d'aplicar el procés de qualitat de dades. Es mostren els punts de baixada (color) i els punts de pujada (en gris). Els punts blaus corresponen a les dades considerades bones (flag = 1), mentre que els taronges corresponen a les dades sospitoses (flag = 3) – Font: Figura 7 de Ortigosa *et al.*, 2022.

Per a observar l'evolució temporal dels perfils, es varen classificar les dades segons l'estació de mesura per així poder dibuixar perfils de diferents dates corresponents a una mateixa estació, seguint l'exemple de Ortigosa *et al.* 2022 mostrat en l'estat de l'art (perfils TD).

5.4.5- Obtenció dels perfils de referència de les campanyes PUEM

En algunes ocasions ja es disposava de les dades processades dels perfils realitzats en les campanyes PUEM. No obstant, quan aquest no era el cas, s'ha hagut de realitzar el processat mitjançant el programa SBE Data Processing software v2 (<https://www.seabird.com/software>).

Un cop a disposició de tots els perfils de pujada processats des de l'any 2016, es va realitzar un promig mensual en cada una de les estacions de la PUEM per als mesos d'estudi i així obtenir un perfil de referència per a la posterior comparació amb els perfils mesurats amb el SPV.



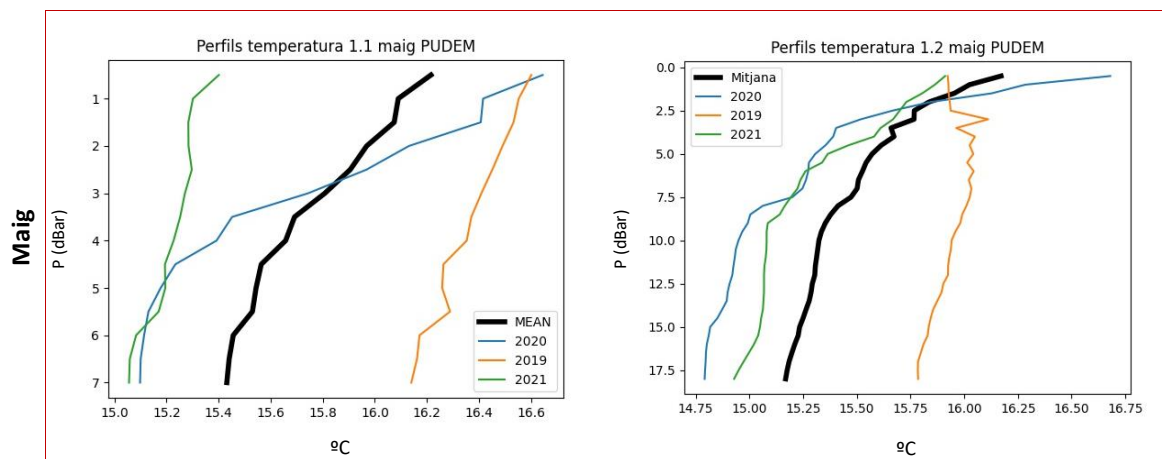
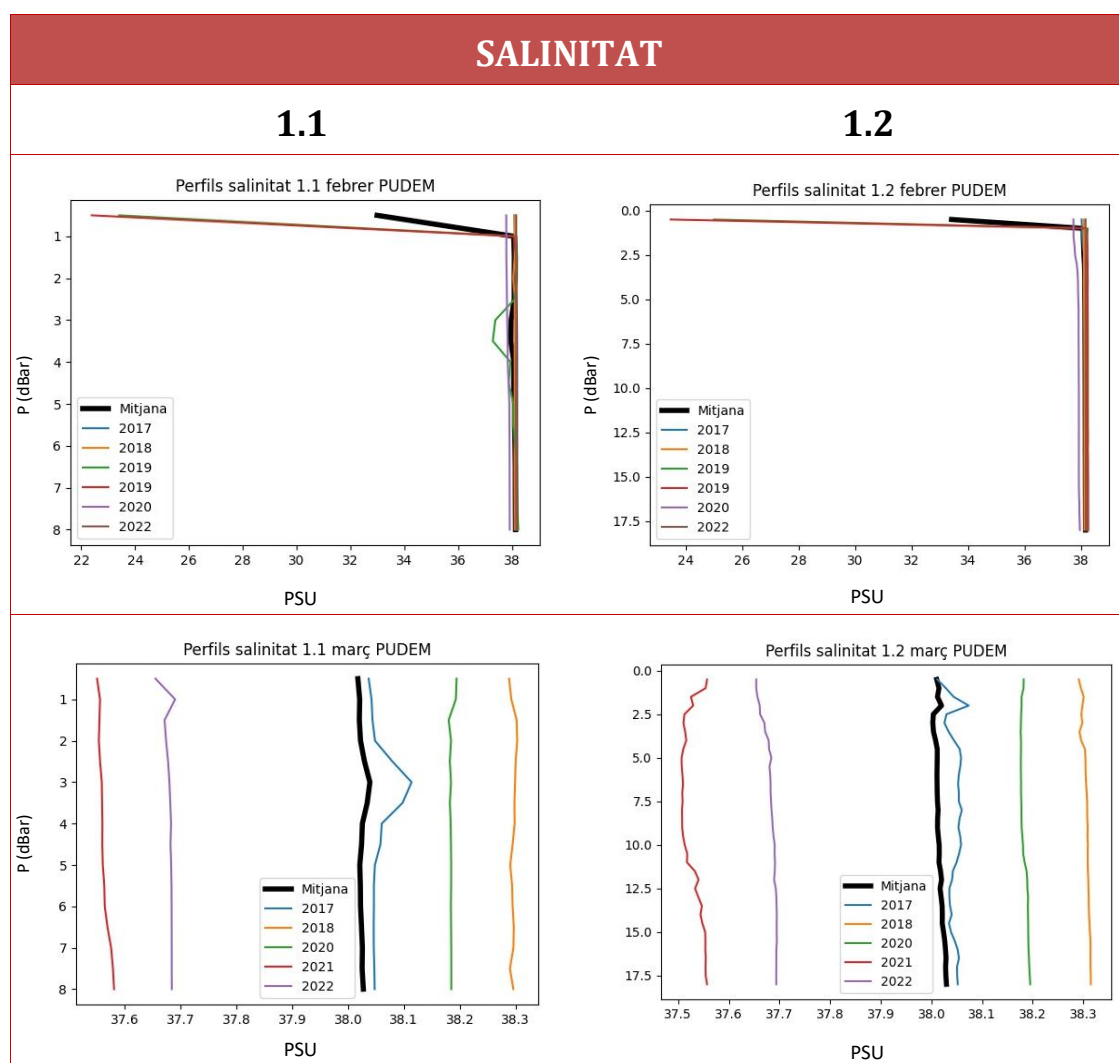


Figura 28. Perfils de temperatura mensuals obtinguts a les campanyes PUEDEM des del 2017 al 2022. En negre, el perfil promitjat que serà utilitzat com a referència.



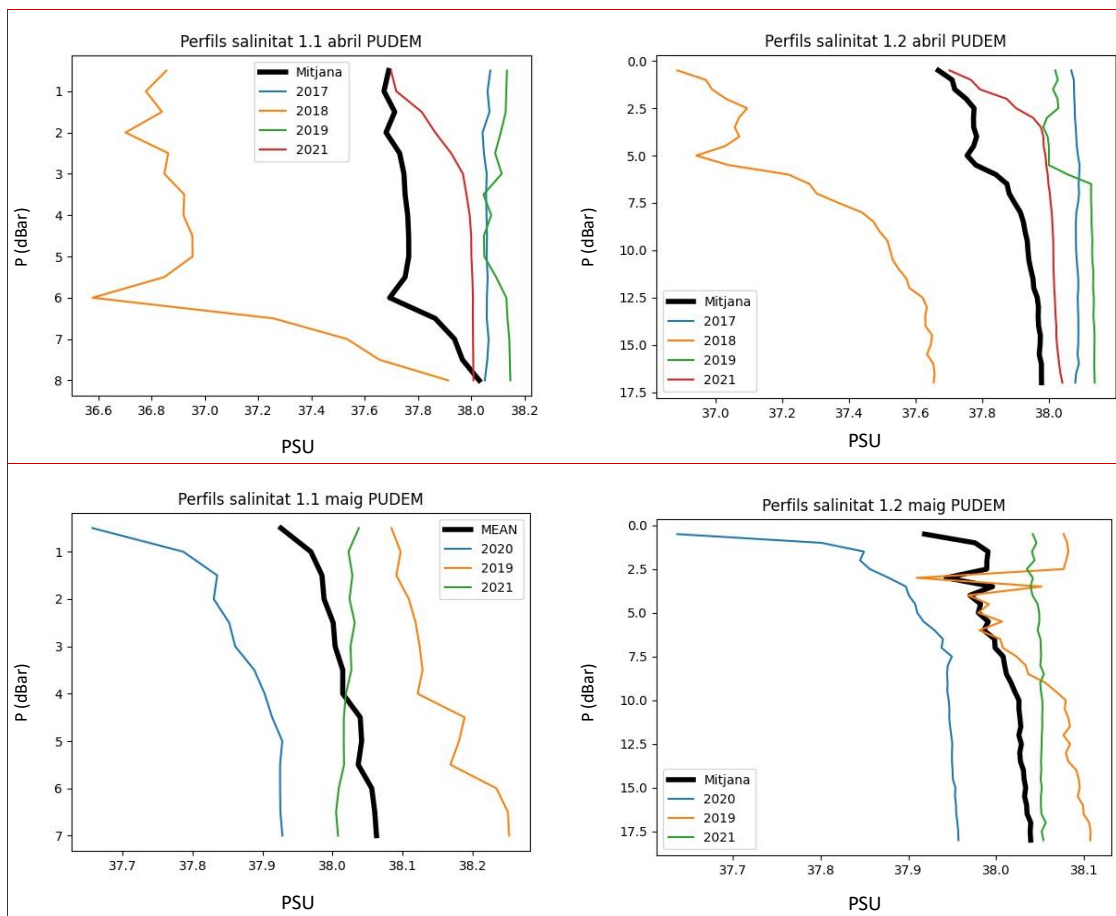


Figura 29. Perfils de salinitat mensuals obtinguts a les campanyes PUDEM des del 2017 al 2022. En negre, el perfil promitjat que serà utilitzat com a referència.

5.4.6- Processat de dades superficials del perfilador CTD CastAway

La part més complexa en el tractament de dades es troba en les dades obtingudes mitjançant l'arrossegament del CTD amb el SPV, és a dir, les dades de temperatura i conductivitat superficials. Com que el processat automàtic de l'aplicació ofereix un promitjat en profunditat, per a poder detectar les variacions en superfície s'hauran de tractar manualment les dades brutes.

En primer lloc, com que per a una mateixa campanya tenim diferents arxius de trams superficials (degut a que entre un tram i l'altre es realitza un perfil), s'ha programat un codi per tal d'unir els diferents trams seguint un ordre temporal. Per altra banda, com que el CTD no agafa posició GPS mentre està submergit, haurem d'unir les dades de posició agafades a través de l'aplicació mòbil de regates *eStela* i incorporar-la en l'arxiu anterior, fent coincidir les hores d'ambdós arxius. A més, també ofereix dades de velocitat del vaixell.

Un cop units tots els trams i la posició i velocitat incorporades, es va programar el codi de processat de dades, definit per una sèrie de pautes:

PRIMER FILTRATGE

En primer lloc, es defineix la data de la campanya corresponent que es vulgui tractar, per així carregar l'arxiu de dades obtingut dels processos anterior.

A continuació, donat que les dades brutes són de conductivitat, s'haurà de realitzar la conversió de conductivitat a salinitat mitjançant una funció programada amb matlab basada en l'equació TEOS-10 [14].

Es crearà una estructura *timetable* (forma d'ordenar les dades en Matlab) amb les diferents variables disponibles, incorporant una columna per als diferents "flags" que s'assignaran a cada una de les variables: Temps, Data (format *datetime*), Pressió, Longitud, Latitud, Velocitat, Flag corresponent a la Pressió, Temperatura, Flag corresponent a la Temperatura, Conductivitat, Flag corresponent a la Conductivitat, Salinitat i Flag corresponent a la Salinitat.

A continuació, es graficaran totes les variables "brutes", per verificar que les dades de salinitat tinguin sentit:

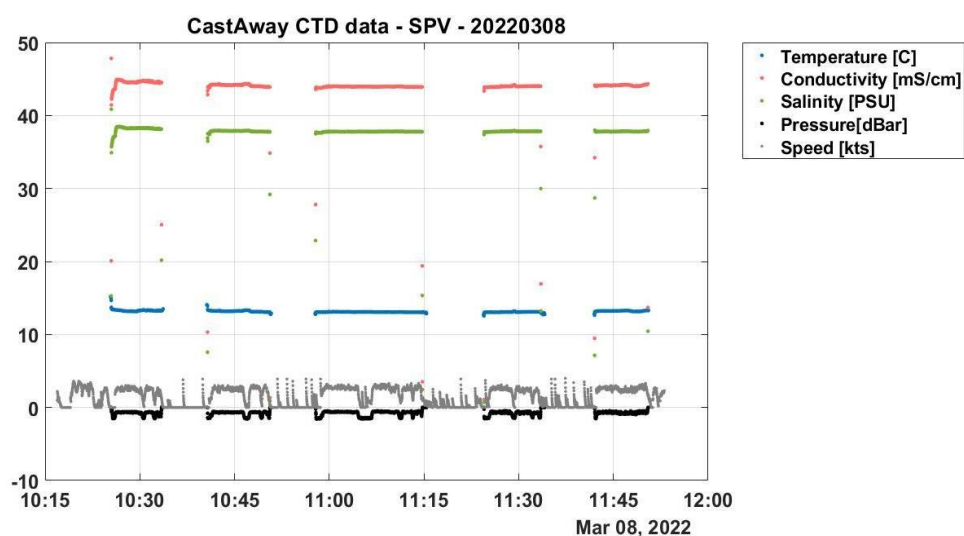


Figura 30. Dades superfcials de temperatura (blau), conductivitat (rosa), salinitat (verd), pressió (negre) i velocitat (gris) del dia 8 de març del 2022.

Primer de tot, es treuen les dades dels primers i últims 30s de cada tram, ja que el sensor necessita uns temps d'adaptació al medi marí i les ultima perquè corresponen al moment quan es treu el CTD de l'aigua abans de preparar-lo per al perfil. En la Figura 30, es pot observar que quan el patí adopta una velocitat elevada, el CTD puja cap a la superfície, provocant una disminució de la pressió. Per tant, en aquests moment, la pressió es troba entre 0-0.5 dBar. En canvi, quan l'embarcació es para, es pot observar com la velocitat decau cap a 0, el CTD s'enfonsa

i conseqüentment es produeix un augment de pressió. Aquestes observacions són necessàries per tal d'anar definint quins tipus de filtres se li hauran d'aplicar a les dades.

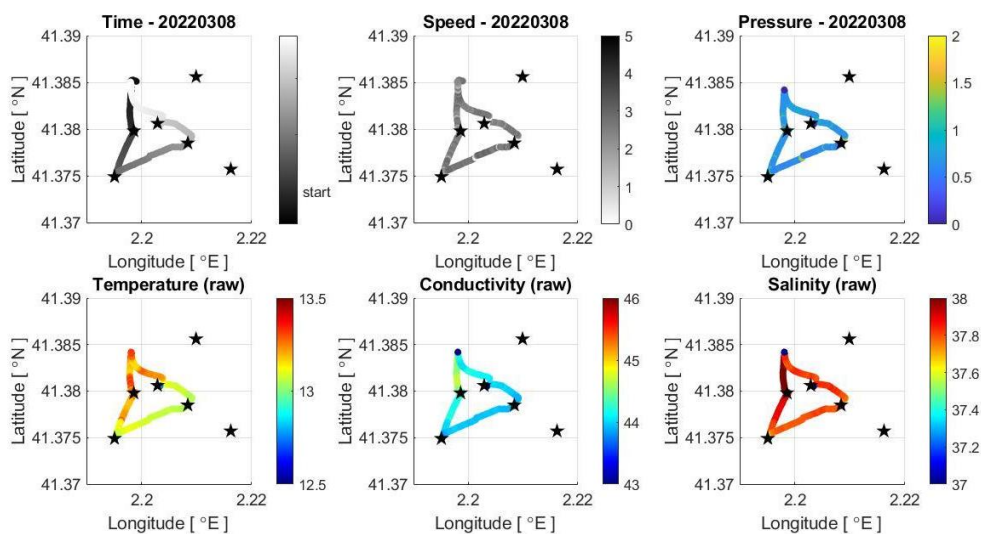


Figura 31. Mapes de les dades superficials no processades. De dalt a baix i esquerra a dreta: temps, velocitat, pressió, temperatura, conductivitat i salinitat. Les estrelles negres indiquen les estacions de mesura definides.

Per tal d'obtenir una primera idea de les variacions espacials de manera més clara, es dibuixen 6 mapes de les diferents variables brutes (Figura 31), en les quals les estrelles representen les 6 estacions de mesura. El primer mapa serveix per indicar on comença el trajecte (en negre).

Com s'ha esmentat anteriorment, es pot observar com a velocitats elevades, la salinitat i la pressió baixen; el CTD va per la superfície i això produeix emulsió (generació de bombolles d'aire que alteren les mesures dels sensors).

D'aquest gràfics s'extreuen les següents conclusions i és que a velocitats majors que 5 nusos i/o a pressions menors a 0.4 dBar, les dades no es poden considerar bones i per tant se li ha d'assignar un Flag = 4 (ja que la conductivitat baixa molt quan es produeixen aquestes condicions, degut a l'entrada de bombolles d'aire). Mentre que a velocitats majors a 0.5 nusos i pressions majors a 1.5, les dades tampoc es poden considerar bones i també se'ls hi ha d'assignar el Flag = 4, ja que el patí es troba parat i no corresponen a dades superficials per sobre dels 1.5m.

A partir de les observacions anteriors, es comencen a definir els criteris de filtració, és a dir, alguns dels controls de qualitat:

| Flag | Definició | Abreviació |
|------|---|---------------------------|
| 0 | No s'ha aplicat cap control de qualitat als valors. És l'estat inicial de tots els valors de dades que entren a l'arxiu de treball | Sense control de qualitat |
| 1 | Dades de bona qualitat que no formen part de cap mal funcionament identificat de l'instrument i s'han verificat com a coherent amb fenòmens reals durant el procés de control de qualitat | Bo |
| 3 | El valor de les dades es reconeix com a inusual durant el control de qualitat, possiblement incompatible amb fenòmens reals | Sospitós |
| 4 | La dada té un valor impossible, òbviament erroni | Dolent |
| 9 | El valor no existeix, NaN | No existeix |

Taula 8. Control de qualitat aplicat durant el processat de dades del CTD CastAway

En la Figura 32 es poden observar les dades que en aquest cas, segons els filtratges establerts, han estat considerades dolentes o sospitoses.

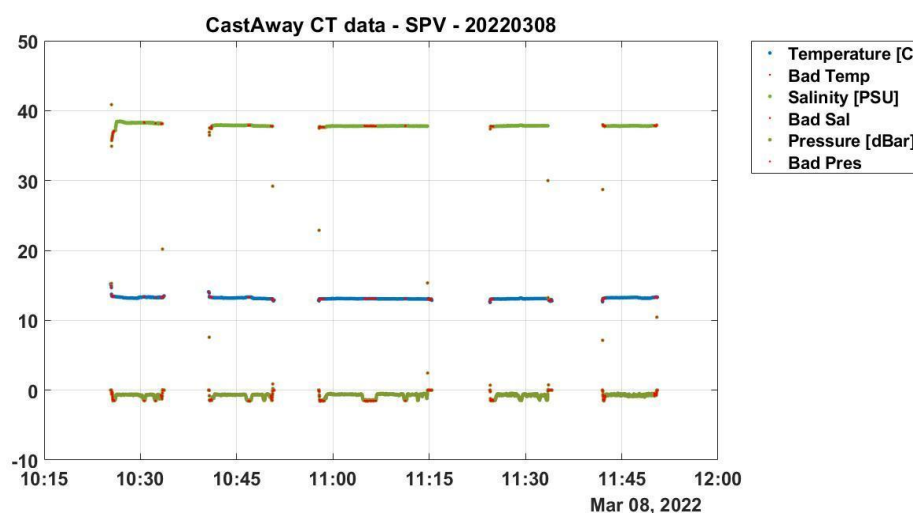


Figura 32. Les dades vermelles són aquelles que segons el control de qualitat han estat considerades dolentes o sospitoses.

Les dades són considerades “dolentes” si es produeix alguna de les situacions següents: (i) Primers i últims 30s de cada tram (quan el CTD s’amolla i es recull); (ii) Si els valors no corresponen a valors geofísics, és a dir, si sobresurten els següents intervals: $12^{\circ}\text{C} < \text{Temperatura} < 28^{\circ}\text{C}$, $20 < \text{Conductivitat} < 60$ i $32\text{PSU} < \text{Salinitat} < 40\text{PSU}$; (iii) Quan es produeix emulsió o el patí para, és a dir, si $\text{Velocitat} > 5$ nusos o $\text{Velocitat} < 0.5$ nusos i $\text{pressió} > 1.5$ dBar.

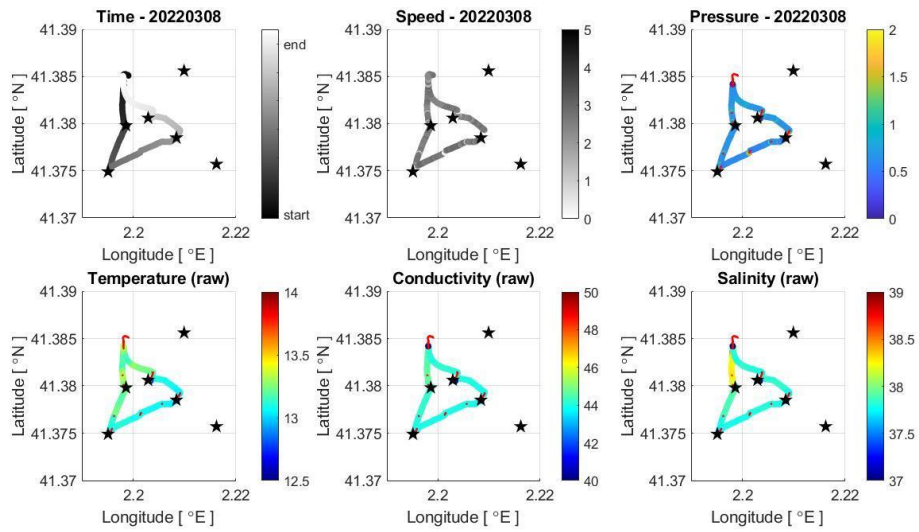


Figura 33. En vermell es marquen sobre els mapes les dades dolentes o sospitoses segons els criteris establerts per el control de qualitat.

PROMITJAT

A continuació, es realitza un promitjat de cada 15s de les dades ja processades, per tal de suavitzar-les (Figura 34).

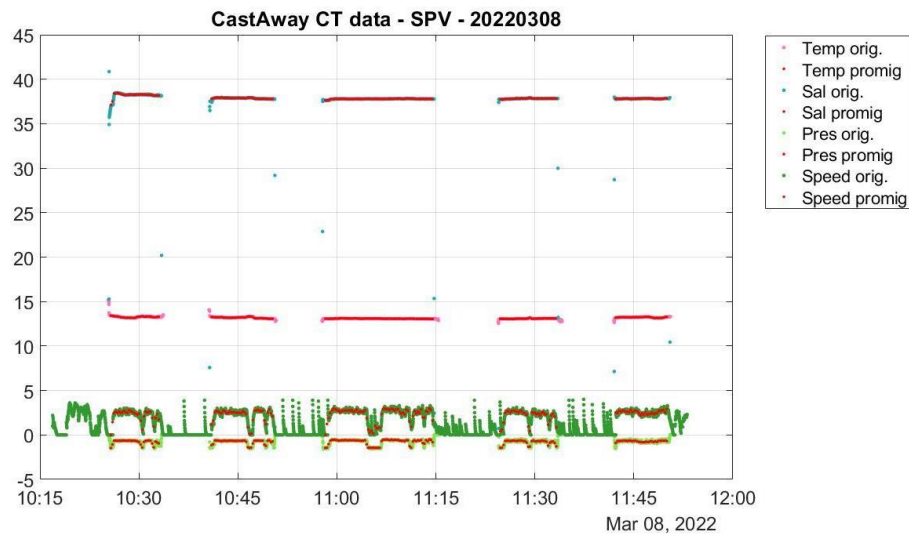


Figura 34. En vermell es poden veure les dades promitjades cada 15s de mostreig.

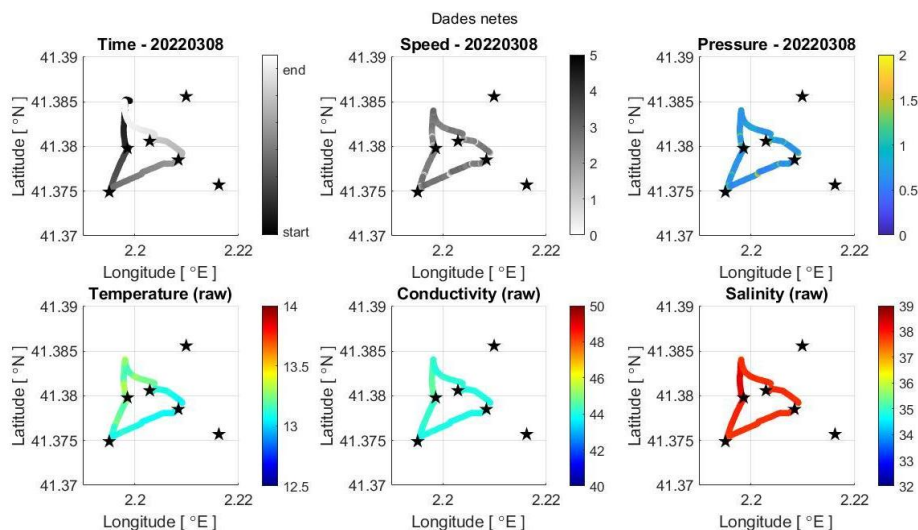


Figura 35. Mapes de les dades promitjades.

FILTRATGE MANUAL

Quan s'analitzen amb detall les dades anteriors filtrades, es pot observar que algunes dades que no són coherents no s'han filtrat. Utilitzant l'eina "brush" de Matlab (que permet seleccionar amb un pinzell dades sobre un mateix gràfic), s'eliminaran els punts dolents que no s'han pogut eliminar amb els filtres anteriors. Es farà prenent de referència la variable salinitat.

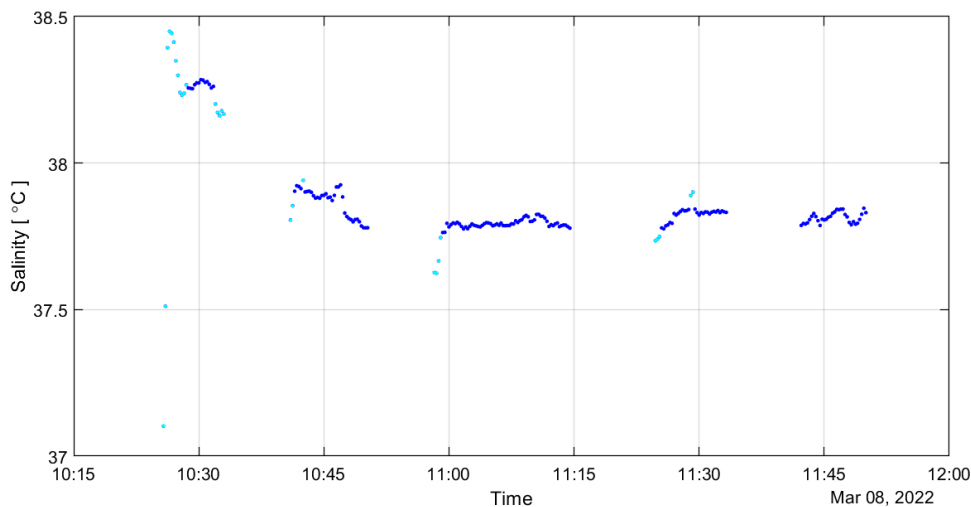


Figura 36. En blau, les dades de salinitat resultants del control de qualitat automàtic. En cian, les dades dolentes que han estat seleccionades per ser eliminades mitjançant una eina de Matlab.

Finalment, per concloure el procés de tractament de les dades superficials, es representen les variables filtrades (Figura 37) i es guardaran dos fitxers: un sense promitjar amb tots els flags corresponents i un promitjat agafant només les dades considerades com Bones (Flag = 1).

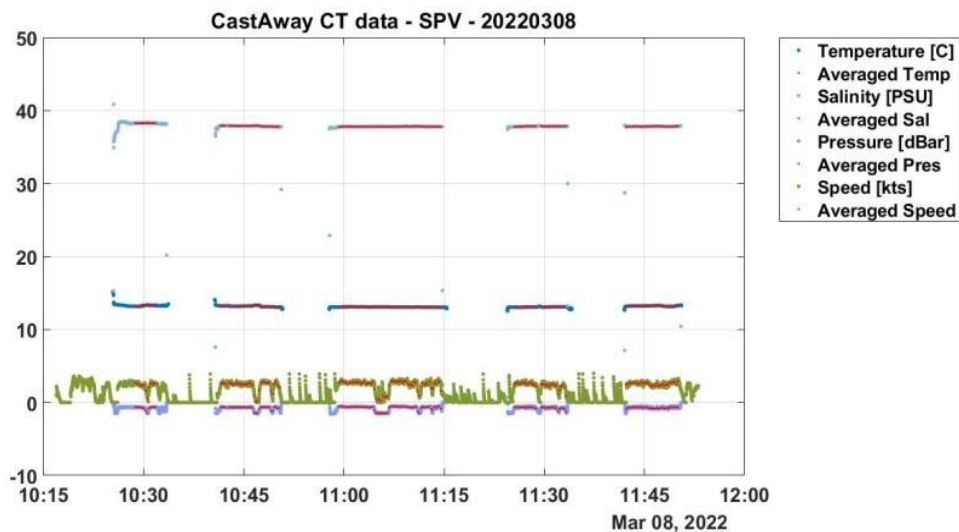


Figura 37. En vermell, les dades netes i promitjades de temperatura, salinitat, pressió i velocitat superficials.

6- Resultats

6.1- Anàlisi de la temperatura i la salinitat en funció de la profunditat

Els punts on s'ha mostregjat amb més freqüència han estat el TD2 i el TD4, que presenten especial interès perquè són els que es veuen més alterats per l'extensió de la ploma. A continuació es presenten els perfils processats de pujada que s'han obtingut al llarg de totes les campanyes mitjançant el CTD CastAway, juntament amb el perfil de referència obtingut del promitjat de les campanyes PUDEM dels anys anteriors.

En el punt TD2 tenim un total de 9 perfils; 3 per a cada mes des de l'inici del funcionament del CTD. S'ha de tenir en compte que en aquest cas no es tracta d'una comparació estricta amb la PUDEM, sinó més bé aproximada, ja que l'estació 1.1 és propera al punt TD2 però no es tracta exactament de la mateixa situació. És per aquesta raó que les profunditats del perfil corresponent al CTD SBE són inferiors. A més, el dia 4 de març el perfil va ser menys profund degut a que era el primer dia de prova del CTD CastAway i la sortida es va realitzar amb kayak i utilitzant un cap més curt que el que s'incorporaria posteriorment.

En el punt TD4 es compta amb un total de 10 perfils; en aquest cas sí que les coordenades coincideixen exactament amb les de la PUDEM, la petita diferència de profunditat del perfil de referència es deu al promitjat.

Temperatura

En la Figura 38 es mostren els perfils de temperatura processats obtinguts mitjançant el CTD CastAway per als mesos de març, abril i maig de 2022.

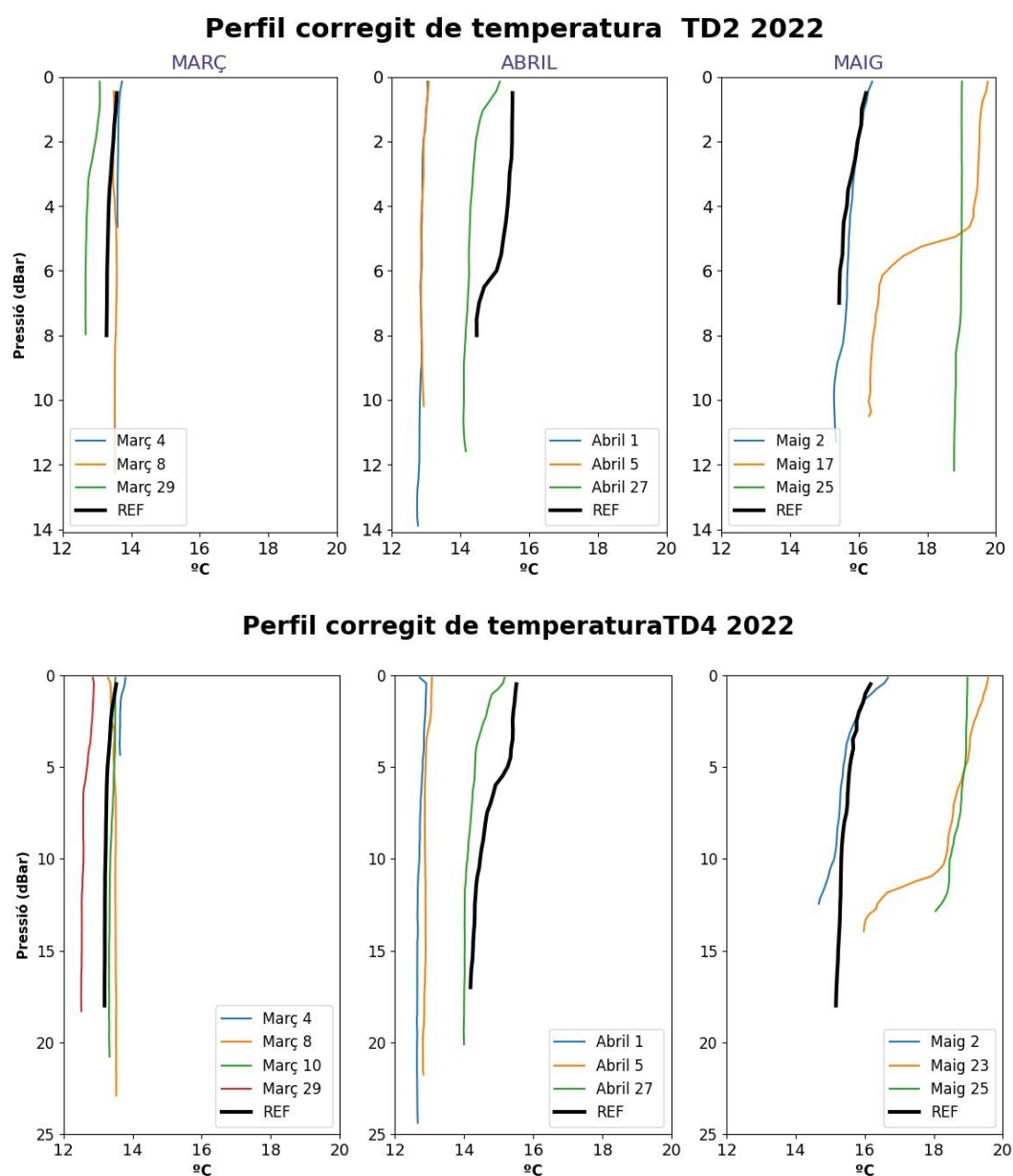


Figura 38. Perfils de temperatura processats i corregits (+0.25°C) del CTD CastAway juntament amb el perfil de referència (en negre). Superior: estació TD2, inferior: TD4.

Salinitat

En les Figura 39 es mostren els perfils de salinitat processats obtinguts mitjançant el CTD CastAway per als mesos de març, abril i maig de 2022. A més, els punts mostrats en el mes d'abril

corresponen a les mostres d'aigua superficial recollides, de les quals se'n va analitzar la salinitat al laboratori.

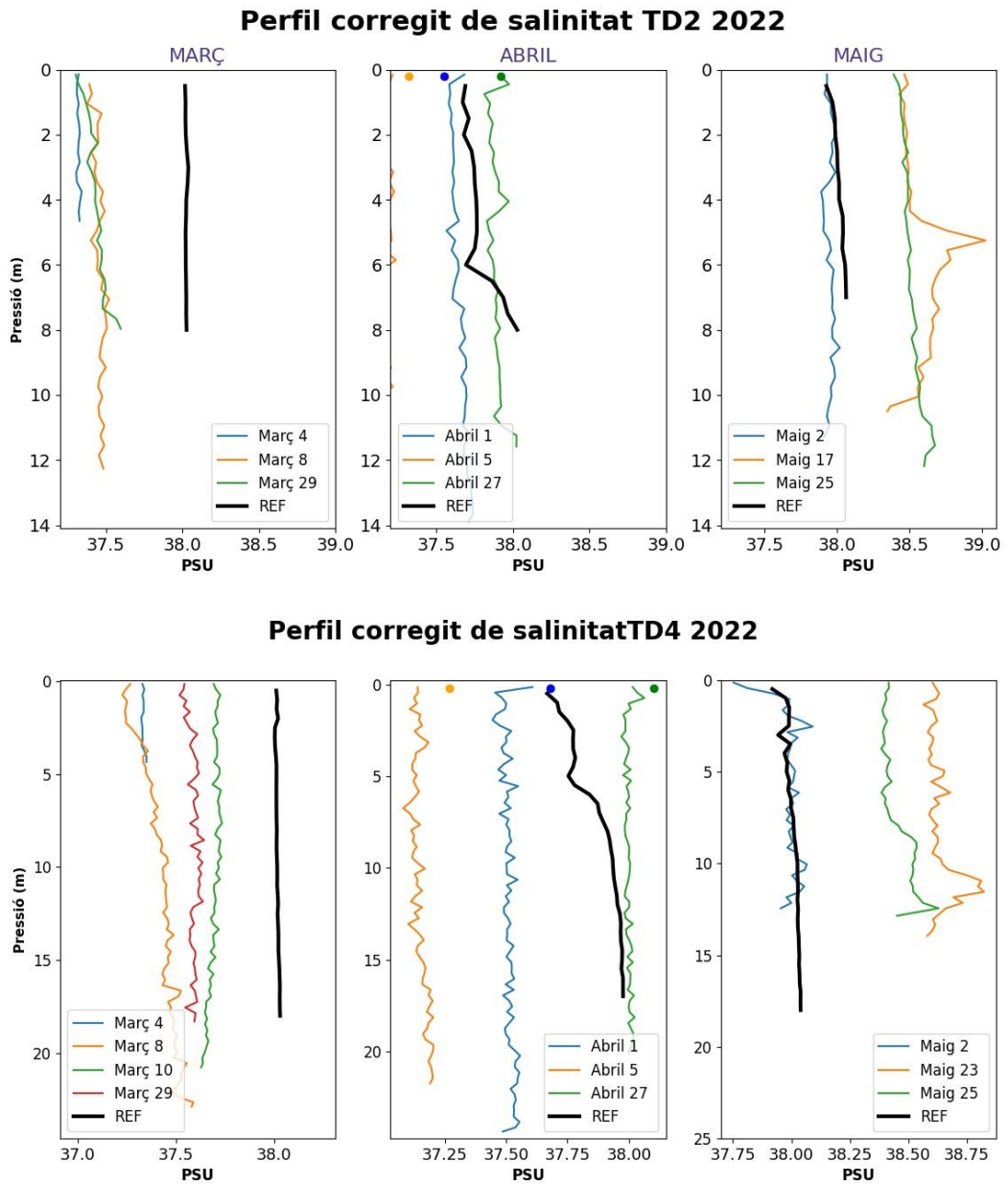


Figura 39. Perfils de salinitat processats i corregits del CTD CastAway juntament amb el perfil de referència (en negre). Superior: estació TD2, inferior: TD4.

6.1- Anàlisi de la temperatura i salinitat de les capes més superficials

Les dades de superfície obtingudes mitjançant l'arrossegament del CTD CastAway són el resultat de la unió dels trams que es varen recórrer en el dia de la campanya corresponent. S'ha de tenir en compte que els trams es varen realitzar amb l'ordre més òptim segons les condicions del dia i que no sempre es varen mesurar els mateixos punts. A més, les hores de sortida també eren variables, com es mostra en la Figura 40, on es pot veure l'evolució temporal de la temperatura i la salinitat superficials en funció del dia i on també s'indica a quina hora es va realitzar la sortida de camp.

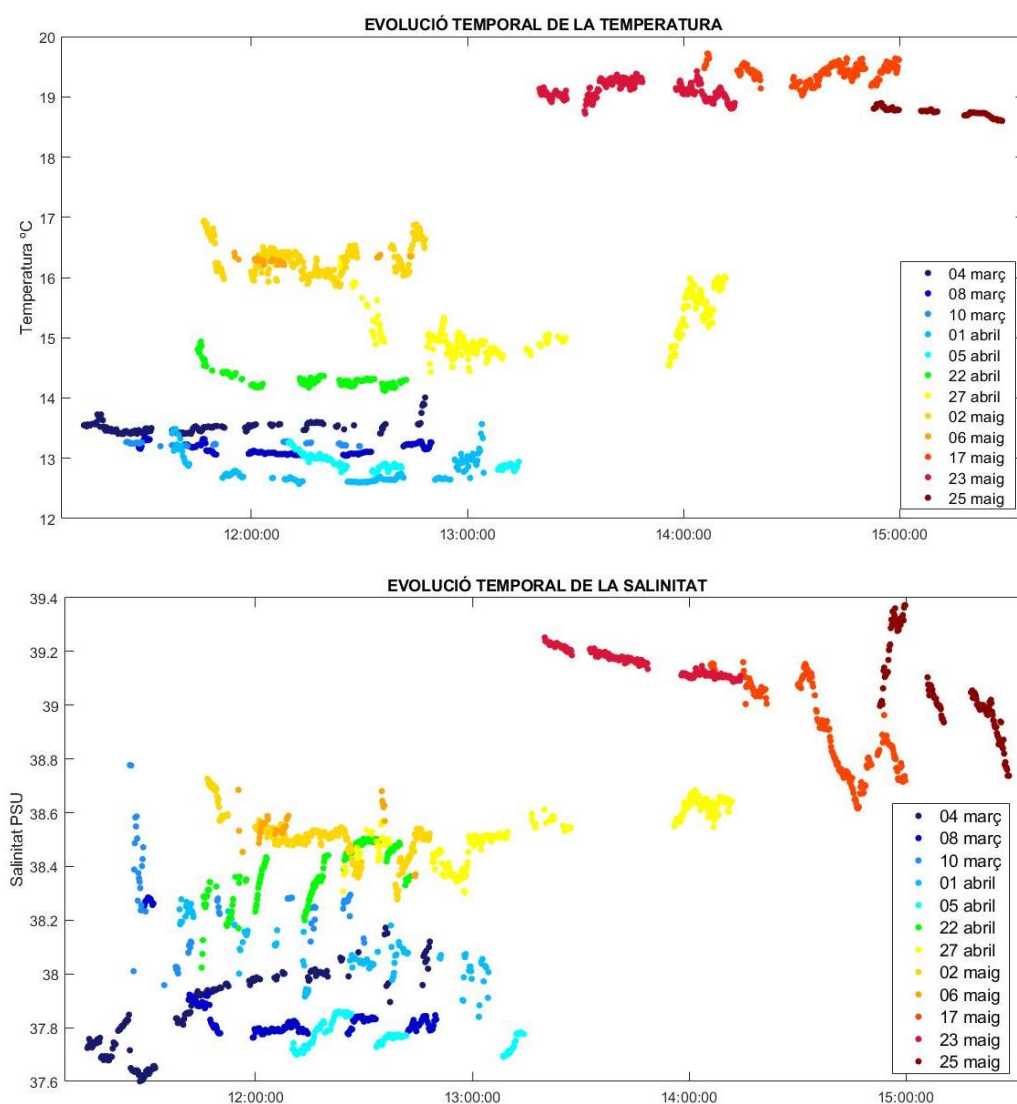


Figura 40. L'evolució temporal de la temperatura (superior) i la salinitat (inferior) superficials en funció de l'hora. En colors, de fred (març) a càlid (maig), les dates de campanya.

Per tal d'observar de manera més clara l'evolució espaciotemporal de les variables, es mostra la distribució de temperatura i salinitat superficial sobre el mapa de la zona d'estudi (Figura 41 i Figura 42).

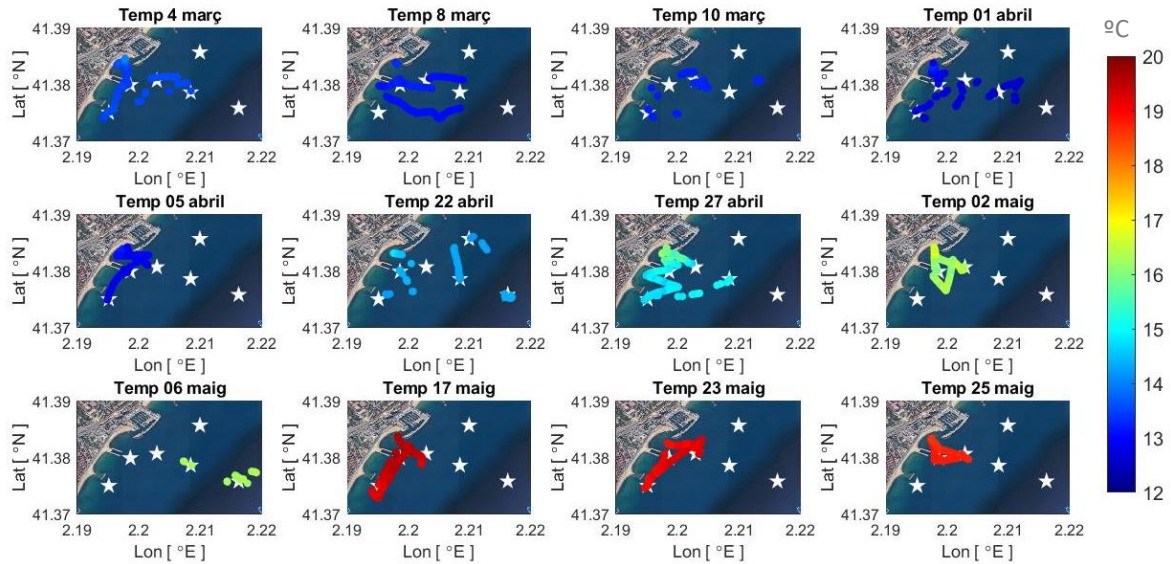


Figura 41. Evolució temporal de la temperatura en la zona d'estudi. Les estrelles blanques indiquen les estacions de mesura definides.

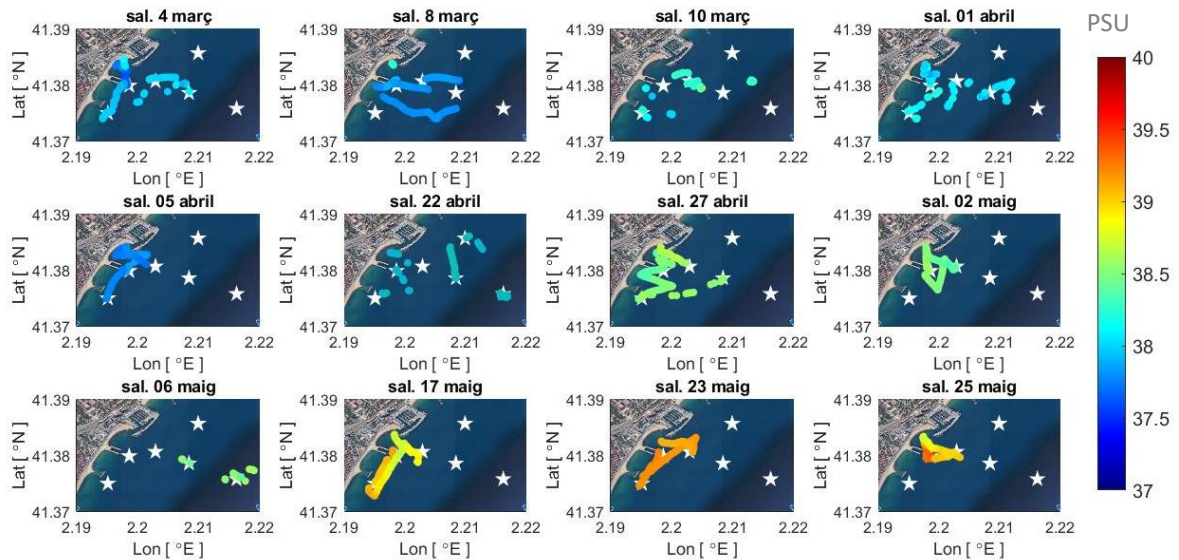


Figura 42. Evolució temporal de la salinitat en la zona d'estudi. Les estrelles blanques indiquen les estacions de mesura definides.

7- Discussió

Els **perfils de temperatura** mostren com a principis de **març** les temperatures eren lleugerament més altes que la referència en el cas del punt TD2 i similars en el cas del TD4. No obstant, a finals de mes, es detecta una baixa de temperatures que és deguda al període de tempestes anterior, en el qual es varen detectar pluges i alçades d'ona elevades que varen intensificar la mescla (Figura 17).

Durant el **mes d'abril**, en tots els casos els perfils de temperatura indicaren temperatures menors al perfil promitjat mensual de la PUDEM. Això es podria deure a l'episodi de tempesta del qual es sortia i també de l'episodi de pluja produït a inicis de mes. No obstant, a finals de mes es detecta una petita estratificació deguda a la pujada de temperatures a partir de mitjans de mes.

El **mes de maig**, al contrari, comença amb temperatures similars a la mitja però a final de mes, tornen significativament més elevades que les del perfil de referència. Això és degut a l'onada de calor que va tenir inici a mitjans del mes. A més, es pot observar com el 17 de maig (en el TD2) es pot veure ja la formació d'una termoclina, que descendeix de profunditat cap als 12m en la campanya del 23 de maig (TD4) degut a les altes temperatures, però que s'homogeneïtza uns dies després, el 25 de maig, degut als episodis de pluja i onades del dia 24 que actuen com a motor de mescla i el perfil torna a adquirir una forma més vertical.

Els perfils en l'estació TD4 de maig arriben només als 12m en una ocasió degut a que la campanya es va realitzar amb caiaç i per tant amb un cap més curt i en les altres per raons que no es varen detectar en el moment, com una possible desconnexió de l'instrument.

Pel que fa a la **salinitat**, en el **mes de març** els perfils presenten salinitats significativament més baixes que en la referència en el TD2 i similars en el TD4, demostrant la relació que hi ha entre salinitat i temperatura.

Mentre que a l'**abril** són similars per ambdós punts. A més, les mostres d'aigua recollides (punts de colors de la Figura 39) només presenten una diferència d'aproximadament 0.1 PSU respecte a la superfície dels perfils de salinitats corregits.

Al maig, finalment, les salinitats són més elevades que la mitjana, especialment cap al final de mes, degut a l'evaporació de l'aigua causada per l'ona de calor. Per altra banda, el 25 de maig es pot observar una disminució de la salinitat de l'ordre de 0.2 PSU en tota la columna d'aigua deguda a l'episodi de pluja del dia anterior.

Per altra banda, les **dades superficials** mostren una evolució ascendent de la temperatura (Figura 41) al llarg de les campanyes, a excepció de l'última el 25 de maig, en la qual la temperatura és lleugerament menor que la del mapa anterior degut a la ploma detectada davant l'Espigó del Gas. A més, el 17 de maig presenta la màxima temperatura de totes les campanyes, evidenciant de nou l'onada de calor que va tenir lloc a meitats del mes.

Pel que fa a la salinitat (Figura 42), es pot observar també una pujada progressiva a mesura que transcorre la primavera. També es detecten aigües lleugerament més dolces en la part més propera a la platja i al Port, exceptuant el dia 17 de maig, quan les aigües més properes a la costa són lleugerament més salades. Aquest esdeveniment podria explicar-se per l'onada de calor anterior, en que les aigües més someres es veuen més afectades per l'evaporació superficial. L'últim dia (25 de maig), després de l'episodi de pluja i de l'aparició de la ploma d'aigua dolça, s'observa una baixada de la salinitat en tota la zona, com era d'esperar excepte en la zona que es troba entre l'estació TD2 i l'Espigo del Gas, fenomen que a dia d'avui no s'ha aconseguit explicar.

Finalment, comparant aquests mesos de març, abril i maig del 2022 amb dades d'anys anteriors de las campanyes PUDEM, s'observa que el mes de març de 2022 ha estat més càlid prop i més endins que en els anys anteriors. Això pot ser resultat d'un augment de salinitat tant prop del litoral como més mar endins. En el cas dels mesos de març i abril, es poden veure patrons diferents depenent de la zona que s'observa.

8- Conclusions

Dels resultants exposats es poden extreure diverses conclusions referents tant a la instrumentació utilitzada en el projecte del Patí Científic com als objectius proposats en aquest treball.

En primer lloc, s'ha observat que el TD és una molt bona opció d'instrumentació de baix cost per a incorporar al patí, donat que la precisió dels seus sensors és comparable a la d'instruments molt més elaborats o professionals que s'utilitzen en las campanyes oceanogràfiques. Per altra banda, el CTD també s'ha convertit en un instrument molt útil per al mostreig tant superficial com en profunditat, però s'allunya més de l'ideal econòmic i requereix un treball important de processat de dades.

S'ha aconseguit assolir l'objectiu del projecte de mesurar la variabilitat espaciotemporal de la temperatura i la salinitat, així com detectar l'event de pluja i la formació de ploma del 25 de maig i l'ona de calor de mitjans de maig.

Per altra banda, també s'ha mesurat la variabilitat espaciotemporal de la temperatura i la salinitat, així com detectar un event de pluja mitjançant la formació d'una ploma el 24 de maig. Per altra banda, s'ha pogut mesurar l'onada de calor de mitjans de maig, observant una pujada de temperatura tant en les dades superficials com en profunditat. A més, també s'ha aconseguit ampliar les dades de salinitat fins a la profunditat de 20 m i s'ha vist que el mes de maig de 2022 ha estat un mes més calorós, la qual cosa ha provocat un augment de las temperatures i de la salinitat superficial fins a una profunditat de 20 m al llarg de tota la zona d'estudi.

En definitiva, respecte a estudis anteriors, s'ha aportat una major freqüència en les observacions de la zona d'estudi, a més d'assolir la capacitat d'augmentar la resolució temporal a una escala setmanal.

8.1- Perspectives futures

Pel que fa a futurs objectius que sorgeixen com a resultat d'aquest estudi són per una part la recerca d'un equip de mesura de conductivitat de baix cost que pugui realitzar la funció del CTD, per així poder replicar aquest instrument i repartir-lo conjuntament amb el TD a navegants del patí vela per així poder obtenir un base de dades contínua prop de la costa.

Per altra banda, seguir amb el mostreig setmanal per tal de poder continuar monitoritzant la costa litoral de la platja del Somorrostro i detectar els impactes antropogènics, així com augmentar la instrumentació del SPV i afegir una sonda batimètrica.

Bibliografia i referències

1. ADIPAV. Reglamento de la Disciplina Patín a Vela. Clase: Patín a Vela. Available online: <http://adipav.org/node/1503> (Accessed on 31 anuary 2022)
2. Antonijuan, J., Guillen, J., Lopez, L., & Simarro, G. (2012). Near-bottom sediment dynamics on highly-protected beaches. *2012 IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference Proceedings*. <https://doi.org/10.1109/i2mtc.2012.6229166>
3. Buffett, G. G., Hobbs, R. W., Vsemirnova, E., Klaeschen, D., Hurich, C., Ranero, C., & Sallares, V. (2013). Characterization of thermohaline staircases in the Tyrrhenian sea using stochastic heterogeneity mapping. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 133(5), 3313. <https://doi.org/10.1121/1.4805513>
4. Carrasco Serra, O. (2020, December). Anàlisi del comportament d'un patí de vela abans i després de la incorporació d'instruments científics de mesura (Projecte Final de Màster Oficial). UPC, Facultat de Nàutica de Barcelona, Departament de Ciència i Enginyeria Nàutiques. Retrieved from <http://hdl.handle.net/2117/334819>
5. Fofonoff, P. & Millard, R.C. (1983). *Algorithms for computation of fundamental properties of seawater*, Unesco Technical Papers in Marine Sci., 44, 58 pp. UNESCO. (1981). Background papers and supporting data on the practical salinity, 1978. Unesco Technical Papers in Marine Sci., 37, 144 pp.
6. Font J., Salat J., Tintoré J. (1988). Permanent features of the circulation in the Catalan Sea. *Oceanol. Acta* S9, 51-57.
7. Font, J. (1987). The path of the Levantine intermediate water to the Alboran sea. *Deep Sea Research Part A. Oceanographic Research Papers*, 34(10), 1745–1755. [https://doi.org/10.1016/0198-0149\(87\)90022-7](https://doi.org/10.1016/0198-0149(87)90022-7)
8. Grifoll, M., Aretxabaleta, A. L., Espino, M., & Warner, J. C. (2012). Along-shelf current variability on the Catalan inner-shelf (NW Mediterranean). *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 117(C9), n/a. <https://doi.org/10.1029/2012jc008182>
9. Grifoll, M., Gracia, V., Aretxabaleta, A., Guillén, J., Espino, M., & Warner, J. C. (2014). Formation of fine sediment deposit from a flash flood river in the Mediterranean Sea. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 119(9), 5837–5853. <https://doi.org/10.1002/2014jc010187>
10. Guillén, J., Arin, L., Salat, J., Puig, P., Estrada, M., Palanques, A., Simarro, G., & Pascual, J. (2019). Coastal oceanographic signatures of heat waves and extreme events of dense

- water formation during the period 2002–2012 (Barcelona, NW Mediterranean). *Scientia Marina*, 82(4), 189. <https://doi.org/10.3989/scimar.04766.26a>
11. ICM, Estació Litoral de Barcelona, Institut de Ciències del Mar. Available online: <http://coo.icm.csic.es/site-page/stations#Barcelona-ELB> (accessed on 1 August 2019).
 12. ICM, PUDEM SOS Application, Institut de Ciències del Mar. Available online: <http://ide.cmima.csic.es/sos-js/web/examples/sos-apptest> (accessed on 1 August 2019).
 13. ICM. Oceanographic Data - Coastal Ocean Observatory. Available online: <http://coo.icm.csic.es/site-page/oceanographic-data> (accessed on 21 October 2021).
 14. IOC, SCOR and IAPSO, 2010: *The international thermodynamic equation of seawater - 2010: Calculation and use of thermodynamic properties*. Intergovernmental Oceanographic Commission, Manuals and Guides No. 56, UNESCO (English), 196 pp.
 15. Lacombe H., Tchernia P. (1971–1972). *Le problème de la formation des eaux profondes. Déroulement du phénomène en Méditerranée nord-occidentale par hiver très froid* (Janvier-Mars 1963). *Ann. Inst. Océanogr.* 48, 75-110.
 16. Macías, D., & Pascual, A. (2021). *Ocean Science Challenges For 2030*. Espanya: Editorial CSIC. ISBN 978-84-00-10762-8.
 17. Millot, C. (1990). The Gulf of Lions' hydrodynamics. *Continental Shelf Research*, 10(9–11), 885–894. [https://doi.org/10.1016/0278-4343\(90\)90065-t](https://doi.org/10.1016/0278-4343(90)90065-t)
 18. Ojeda, E. & Guillén, J. (2008). *Shoreline dynamics and beach rotation of artificial embayed beaches*. *Marine Geology*. 253, 51-62.
 19. Ortigosa Barragán, I., Castells Sanabra, M., Mateu Llevadot, J., Bardaji, R., Hoareau, N., Simon, C., Pelegrí, J. L., et al. (2020). *Adapting the existing coastal patí a vela fleet for scientific purposes*. *Maritime Transport VIII: proceedings of the 8th International Conference on Maritime Transport : Technology, Innovation and Research : Maritime Transport* (pp. 200–214). Barcelona, Universitat Politècnica de Catalunya, Departament de Ciència i Enginyeria Nàutiques. Retrieved from <http://hdl.handle.net/2117/329889>
 20. Ortigosa, I., Bardaji, R., Carbonell, A., Carrasco, O., Castells-Sanabra, M., Figuerola, R., Hoareau, N., Mateu, J., Piera, J., Puigdefabregas, J., Salvador, J., Simon, C., Vallès-Casanova, I., & Pelegrí, J. L. (2022). Barcelona Coastal Monitoring with the “Patí a Vela”, a Traditional Sailboat Turned into an Oceanographic Platform. *Journal of Marine Science and Engineering*, 10(5), 591. <https://doi.org/10.3390/jmse10050591>
 21. Romero, E., Peters, F., Arin, L., & Guillén, J. (2014). Decreased seasonality and high variability of coastal plankton dynamics in an urban location of the NW

Mediterranean. *Journal of Sea Research*, 88, 130–143.
<https://doi.org/10.1016/j.seares.2014.01.010>

22. Salat J. & Pascual J. (2002). *The oceanographic and meteorological station at l'Estartit (NW Mediterranean)*. Tracking long-term hydrological change in the Mediterranean Sea. CIESM Workshop Series Monaco. 16, 29-32.
23. Sancho-García, A, J. Guillén & E. Ojeda. (2013). *Shoreline reshaping of an embayed beach during storms after protections works*, *GeoMarine Letters*, 33(2-3), 159-172.
24. TERMCAT. Diccionari nàutic | TERMCAT. En línia: <https://www.termcat.cat/ca/diccionaris-en-linia/119/ca/V?page=11>
25. Wagner, R.J., Boulger, R.W., Jr., Oblinger, C.J. & Smith, B.A., 2006, *Guidelines and standard procedures for continuous water-quality monitors Station operation, record computation, and data reporting*. U.S. Geological Survey Techniques and Methods. 1D3, 51.
26. Wright, Sewall. 1921. Correlation and causation. *Journal of Agricultural Research*, 20, 557-585.

Annex A1. Protocol de campanya del Patí Científic

ABANS DE SORTIR DE CAMPANYA - a l'ICM

- Mirar previsió meteorològica
- Preparar i etiquetar ampolles de mostreig d'aigua superficial (6 ampolles per a les 6 estacions de perfil, posar data de la campanya + estació de mostreig)
- Preparar pissarra i llapis per apuntar dades dels mostrejos
- Preparació/verificació dels instruments
 - TD: Mirar memòria de la tarjeta SD, piles, bossa de silicagel seca i junta tòrica neta
 - CTD CastAway: Memòria disponible, piles, pesos i caps
- Apuntar a la pissarra la meteorologia: *windir, windspeed...*
- Preparar App *eStela* y crear regata per registrar el recorregut de la campanya

EN EL CLUB - CPVB

- Material a posar en el patí:
 - 2 remes (en cas de poc vent)
 - Vela
 - Caps i pesos per a: TD i CTD
 - Pissarra amb llapis
 - Ampolles de mostrejos de superfície
 - Mòbil
 - Aigua i menjar

EN LA VORA DEL MAR (Abans de sortir)

- Montar vela
- Encendre regata *eStela*
- Muntar els instruments (TD i CTD) i lligar-los amb cap de seguretat

DURANT LA NAVEGACIÓ

- Encendre el CTD i deixar-lo a l'aigua entre les baranes 2 i 3 del Patí perquè comenci a mostrejar per arribar fins a la primera estació de mesura per fer el perfil. L'ordre de mesura dels diferents punts depenen de la direcció del vent al seu moment
- En arribar a l'estació de mesura:
 - Apuntar a la pissarra (hora, número de l'estació)
 - Desplaçar-se endavant per aturar el Patí i poder mesurar
 - Apagar CTD-CastAway
 - Lligar el CTD-CastAway amb el TD
 - Tornar a encendre a CTD-CastAway per fer el perfil juntament amb el TD
 - Fer el perfil (protocol de mesura)
 - Prendre la mostra d'aigua de superfície amb l'ampolla que correspon al número de l'estació
- Quan es finalitza el perfil en l'estació:
 - Lligar de nou el CTD-CastAway perquè mesuri en mode transecte
 - Tornar a encendre el CTD-CastAway per al següent transecte
 - Col·locar-lo de nou en la seva posició de mostreig (entre les barra 2 i 3 del Patí)
 - Guardar material (ampolla de mostreig de superfície, pissarra i llapis i TD) a la xarxa a popa del patí
 - Anar al següent punt de mesura pel següent perfil

Protocol de mesura per fer un perfil amb el TD:

– Lligar el CTD-CastAway amb el TD

– Verificar els nusos

– Encendre el TD amb l'interruptor de velcro posicionant-lo tan centrat com sigui possible (si estem usant el TD-FNB, girar el botó amb les fletxes en sentit horari, esperar que la led comenci a parpellejar).

– Encendre CTD-CastAway

– Verificar els nusos

- *Submergir els instruments els primers 50 cm d'aigua i deixar-los 60s que s'estabilitzin els sensors*
- *Començar perfil, baixant a velocitat constant fins que el pes toqui fons o que s'acabi la longitud del cap*
- *Pujar els instruments i apagar-los*
- *Anotar profunditat a partir de les marques presents al cap del TD*

**Antes d'arribar: Pujar el CTD-CastAway

EN LA VORERA (En arribar)

- Apagar regata eStela
- Portar el Patí al CPVB amb el carro elèctric
- Guardar la caixa al CPVB si s'havia fet servir
 - * Deixar caps TD al Patí
- Netejar TD i CTD amb aigua dolça

PUJAR TOT EL MATERIAL EMPRAT AL LAB de l'ICM

EN ARRIBAR a l'ICM

- Deixar les ampolles de mostreig al Lab de Maribel perquè s'aclimati a la temperatura de l'habitació durant un parell d'hores. abans de mesurar-les
- Netejar amb aigua destil·lada el TD i el CTD-CastAway
- Assecar TD amb paper
- Obrir TD per baix
- Treure SD
- Posar bossa silicagel a assecar i potser el TD (sense pila!!)
- Desar dades del TD al portàtil
- Baixar dades del CTD-CastAway
- Verificar càrrega de les piles del CTD-CastAway i posar-les a carregar si cal
- Pujar dades a SACO CSIC i DRIVE

-
- Esborrar dades de les SD del TD-Joan
 - Apuntar la informació de la pissarra al full de campanya
 - Mesurar les ampolles i apuntar els valors al full de campanya

Annex A2. Conversió a salinitat

Per a l'obtenció de la salinitat s'ha utilitzat un "script" de Matlab que calcula la salinitat de l'aigua a partir de la pressió i la conductivitat de l'aigua (Fofonoff i Millard, 1983). Aquests varen presentar un informe amb algorismes per a calcular propietats bàsiques de l'aigua de mar basades en l'escala pràctica de salinitat (PSS-78) i l'equació internacional de l'estat de l'aigua de mar (EOS-80).

Les fórmules extretes de Fofonoff i Millard, 1983 utilitzades han estat les següents:

Salinitat pràctica

$$S = a_0 + a_1 R_t^{1/2} + a_2 R_t + a_3 R_t^{3/2} + a_4 R_t^2 + a_5 R_t^{5/2} + \Delta S \quad (1)$$

en la qual:

$$\Delta S = \frac{(t-15)}{1+k(t-15)} \left(b_0 + b_1 R_t^{1/2} + b_2 R_t + b_3 R_t^{3/2} + b_4 R_t^2 + b_5 R_t^{5/2} \right) \quad (2)$$

On les constants definides en l'equació (1) són

| | | |
|----------------------|---------------------|----------------|
| $a_0 = + 0.0080$ | $b_0 = + 0.0005$ | |
| $a_1 = - 0.1692$ | $b_1 = - 0.0056$ | |
| $a_2 = + 25.3851$ | $b_2 = - 0.0066$ | |
| $a_3 = + 14.0941$ | $b_3 = - 0.0375$ | $k = + 0.0162$ |
| $a_4 = - 7.0261$ | $b_4 = + 0.0636$ | |
| $a_5 = + 2.7081$ | $b_5 = - 0.0144$ | |
| $\sum a_i = 35.0000$ | $\sum b_i = 0.0000$ | |

Les equacions (1) i (2) són vàlides pels rangs de temperatura (-2 a 35°C) i de salinitat pràctica (2-42 PSU) (Perkin and Lewis, 1980).

El rati r_t ve donat per

$$r_t = c_0 + c_1 t + c_2 t^2 + c_3 t^3 + c_4 t^4 \quad (4)$$

On

$$c_0 = + 0.6766097$$

$$c_1 = + 2.00664 \text{ E-2}$$

$$c_2 = + 1.104259 \text{ E-4}$$

$$c_3 = - 6.9698 \text{ E-7}$$

$$c_4 = + 1.0031 \text{ E-9}$$

Amb un rang de validesa: $t = -2$ a 35°C

El rati R_p ve donat per

$$R_p = 1 + \frac{p(e_1 + e_2p + e_3p^2)}{1 + d_1t + d_2t^2 + (d_3 + d_4t)R} \quad (4)$$

On

$$e_1 = + 2.070 \text{ E-5}$$

$$d_1 = + 3.426 \text{ E-2}$$

$$e_2 = - 6.370 \text{ E-10}$$

$$d_2 = + 4.464 \text{ E-4}$$

$$e_3 = + 3.989 \text{ E-15}$$

$$d_3 = + 4.215 \text{ E-1}$$

$$d_4 = - 3.107 \text{ E-3}$$

**El programa utilitzat es troba en l'enllaç de l'Annex 4, en la carpeta de la secció 5.4.6, amb el nom de "conduc2sali.m".

Annex A3. CTD CastAway

Tota la informació sobre el CTD CastAway es pot trobar en la pàgina web de YSI <https://www.ysi.com/castaway-ctd>. En aquest annex es presenta informació resumida que pot resultar d'interès.

El CastAway-CTD és un CTD petit, robust i tècnicament avançat, dissenyat per fer perfils a profunditats de fins a 100m. El seu sistema incorpora característiques i tècniques innovadores que li permeten assolir una freqüència de mostreig de 5 Hz, una fina resolució espacial i una gran precisió. Presenta un sensor GPS intern integrat, una pantalla de visualització en temps real i la capacitat de transferir dades sense fil de forma automatitzada via Bluetooth.

La cèl·lula de flux del CastAway-CTD alberga un conjunt de sensors dissenyats per proporcionar dades altament precises sense peces mòbils, la qual cosa simplifica enormement el manteniment i perllonga la vida útil.

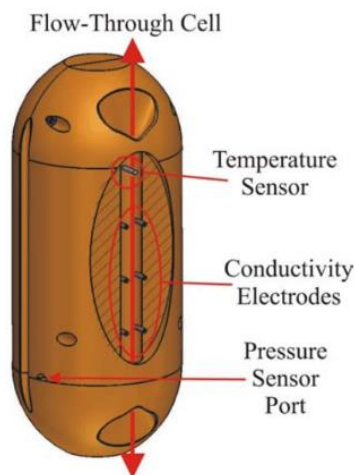


Figura 43. Disposició dels sensors del CTD CastAway.

Presenta:

- Un sistema de temperatura que permet al CastAway respondre en menys de 125 mil·lisegons
- Un sensor de pressió amb una precisió del 0,25% del FS
- Una cèl·lula de conductivitat de flux amb sis elèctrodes de níquel amb zero camps externs disposats i seqüenciats per millorar l'estabilitat i un termistor de resposta ràpida per assolir una alta precisió de mesurament
- No requereix una bomba i està dissenyat hidrodinàmicament per assolir una taxa de caiguda de 1 m/s

- Una cèl·lula totalment continguda que elimina els possibles errors de conductivitat dels materials conductors propers.

CastAway-CTD Specifications

| | Range | Accuracy | Resolution |
|-----------------------|------------------------------|------------------------------|--------------------|
| Conductivity | 0 – 100,000 $\mu\text{S/cm}$ | 0.25% $\pm 5 \mu\text{S/cm}$ | 1 $\mu\text{S/cm}$ |
| Temperature | -5° - 45° C | 0.05° C | 0.01° C |
| Pressure | 0 – 100 dBar | 0.25% of FS | 0.01 dBar |
| Salinity (Derived) | Up to 42 (PSS-78) | 0.1 (PSS-78) | 0.01 (PSS-78) |
| Sound Speed (Derived) | 1400 – 1730 m/s | 0.15 m/s | 0.01 m/s |
| GPS | | 10m | |

Taula 9. Propietats dels sensors del CTD CastAway.

A3.1. TIPOLOGIA DE LES DADES DISPONIBLES

L'usuari pot obtenir diversos tipus de dades del CastAwayTM-CTD: **Processats, Down Cast, Up Cast o Raw.**

RAW

- Les dades brutes són exactament això: les mostres brutes de dades de conductivitat, temperatura i pressió en funció del temps. No hi ha paràmetres derivats (conductivitat específica, salinitat, velocitat del so, densitat o profunditat).
- Les dades de pressió han estat corregides en funció de la pressió atmosfèrica utilitzant les dades recollides de l'aire al principi i al final del llançament. Això posa a zero la pressió a la superfície de l'aigua.
- Les dades brutes inclouen totes les dades durant el llançament complet: a l'aire al principi, a la superfície, al perfil descendent, al fons, al perfil ascendent i a l'aire al final. Les dades recollides a l'aire són eliminades pel processat CastAwayTM-CTD, així com quan el sistema s'assenta al fons sense moure's i el termistor comença a escalfar l'aigua al seu voltant. Això només passa quan el sistema o l'aigua no es mouen. Aquest escalfament és un resultat del corrent elèctric que es requereix per llegir el sensor de temperatura. Aquesta dada és eliminada pel processat.

UP CAST AND DOWN CAST

- La conversió de les dades brutes en perfils descendents i ascendents requereix diversos passos.

- Les dades de pressió han estat corregides en funció de la pressió atmosfèrica utilitzant les dades recollides de l'aire al principi i al final del llançament. Això posa a zero la pressió a la superfície de l'aigua.
- Calcula la taxa de canvi de la pressió en funció del temps, que és la velocitat vertical del sistema a través de l'aigua. Utilitza això per eliminar les dades recollides a l'aire o mentre està estacionat a la superfície o el fons, així com per separar els llançaments cap avall i cap amunt.
- A continuació, combina les dades brutes dels perfils descendents i ascendents en intervals verticals basats en la pressió. Totes les mostres dins d'un interval de 0,3 decibars es fan mitjana en un únic valor, la qual cosa proporciona dades de perfil amb un espaiat regular per facilitar el postprocessat.
- S'eliminen les dades quan s'està fora de l'aigua, esperant a la superfície o esperant al fons.

PROCESSED

- Aquesta és la forma més comuna de les dades del CastAway™-CTD, i és la recomanada per a la majoria dels nostres usuaris.
- En aquesta forma, les dades del llançament descendent i ascendent s'han combinat per donar el millor mesurament possible del perfil real.
- El perfil processat és una mitjana ponderada dels perfils descendents i ascendents en funció de la velocitat de caiguda. Els ascendents tenen una major ponderació prop de la superfície, mentre que els de tenen major ponderació prop del fons.
- Els detalls de com es processen les dades per produir el perfil final es donen a la secció A-9 del manual del CTD CastAway (*CastAway™-CTD User's Manual (October 2010)*).

Annex A4. Disponibilitat de les dades i els programes utilitzats

A4.1. Accés a les de dades

Les dades del perfilador TD i del CTD CastAway que recolzen els resultats presentats poden trobar-se en <https://paticientific.org/index.php/dades/> (consultat el 26 de juny de 2022), on es van actualitzant de manera progressiva i també en <https://zenodo.org/search> (consultat el 26 de juny de 2022), buscant "pati científic".

A4.2. Programes (*scripts*) utilitzats

Tots els programes utilitzats per a realitzar el present treball es troben ordenats per seccions en el següent enllaç:

https://drive.google.com/drive/folders/1aaXsmA14_deOGTB5ieA2nhFn-849ADVs?usp=sharing