

Memòria del Treball de Fi de Grau

**Estudi i actualització dels paràmetres biològics i poblacionals del lluç
(*Merluccius merluccius*) a la costa catalana**

Javier Marzoa Domínguez

Curs 2022-2023

Grau en Biologia

Tutora acadèmica: Anna Badosa Salvador

Cotutora: Eve Galimany Sanromà

Cotutor: Marc Balcells Surroca

Agraïments

En primer lloc vull agrair als meus directors, la doctora Eve Galimany i al Marc Balcells per la seva paciència i ajuda durant la realització d'aquest treball. També els vull agrair haver-me introduït en el món de la recerca científica i donar-me l'oportunitat de treballar-hi des de dins, tant en la feina de camp com de laboratori. A ells i al doctor Joan B. Company els haig d'agrair la oportunitat de realitzar aquest projecte i el fet d'haver-me acollit en el seu grup. Gràcies també a totes les persones de l'equip vinculades al projecte i als pescadors i els seus respectius patrons, per l'amabilitat i l'hospitalitat rebuda durant els embarcaments.

Agrair també a la meva tutora de la Universitat, la doctora Anna Badosa, pels seus consells, temps i disponibilitat durant la realització del treball.

Voldria agrair també als meus amics, companys i a la meva parella que fan de la meva vida més amena, divertida i plena.

Per finalitzar voldria donar les gràcies a la meva família: als meus pares, àvies i germà perquè sense ells no estaria aquí. En especial agrair i dedicar aquest treball a la meva mare, la Teresa, que tot i tenir opinions molt diferents, sé que està molt feliç de veure'm acabar el meu Treball Final de Grau, cosa que no hagués pogut aconseguir sense ella. Gràcies per tot.

Resum

El lluç europeu (*Merluccius merluccius*) és una de les espècies d'interès comercial més importants a la Mar Mediterrània. Malgrat l'aplicació de mesures de gestió per garantir-ne una explotació sostenible, el recurs ha disminuït a nivell global i els seus paràmetres poblacionals han variat amb el temps. L'estudi i actualització dels paràmetres biològics de les espècies comercials són essencials per aplicar correctament els models de gestió pesquera i ajustar la gestió a la realitat del recurs en cada moment. Per aquest motiu, l'objectiu principal d'aquest estudi és caracteritzar i actualitzar els paràmetres biològics i poblacionals del lluç a la costa catalana analitzant l'estat històric i actual de la seva pesqueria, l'estructura i composició de la seva població, i la seva biologia reproductiva. L'àrea d'estudi inclou la costa catalana, que es va dividir en zona nord, centre i sud, on es van realitzar embarcaments d'arrossegament mensuals, en 4 fondàries diferents, del 2019 al 2022. Les mesures biològiques obtingudes dels lluços capturats mitjançant la pesca d'arrossegament juntament amb les dades de captures obtingudes de les sèries històriques, indiquen una disminució progressiva de l'espècie amb una major abundància d'individus de talles petites, per sota de la talla mínima de referència a efectes de conservació (TMREC), especialment a la plataforma continental. La talla mitjana de femelles i mascles és de 27,5 cm i 23,8 cm respectivament, fet que demostra un creixement diferencial entre sexes, amb una dominància de mascles a la plataforma continental on predominen les talles petites i de femelles als talussos on predominen les talles grans. El lluç és una espècie que es pot reproduir al llarg de tot l'any però durant els mesos de tardor i hivern es dona la màxima activitat reproductiva. La talla de primera maduresa sexual (L_{50}) s'estima en 29,5 cm i 23,2 cm per femelles i mascles respectivament, evidenciant una disminució en els seus valors respecte estudis publicats prèviament. Els resultats indiquen doncs, que la població de lluç està sobreexplotada i que, malgrat ser un recurs gestionat des de fa dècades, s'haurien d'aplicar nous models de gestió per tal de conservar-ne les poblacions, que del contrari experimentaran una disminució lenta però inevitable.

Resumen

La merluza europea (*Merluccius merluccius*) es una de las especies de interés comercial más importantes en el Mar Mediterráneo. Pese a la aplicación de medidas de gestión para garantizar una explotación sostenible, el recurso ha disminuido a nivel global y sus parámetros poblacionales han variado con el tiempo. El estudio y actualización de los parámetros biológicos de las especies comerciales son esenciales para aplicar correctamente los modelos de gestión pesquera y ajustar la gestión a la realidad del recurso en cada momento. Por este motivo, el objetivo principal de este estudio es caracterizar y actualizar los parámetros biológicos y poblacionales de la merluza en la costa catalana analizando el estado histórico y actual de su pesquería, la estructura y composición de su población, y su biología reproductiva. El área de estudio incluye la costa catalana, que se dividió en zona norte, centro y sur, donde se realizaron embarques de arrastre mensuales, en 4 profundidades diferentes, de 2019 a 2022. Las medidas biológicas obtenidas de las merluzas capturadas mediante la pesca de arrastre junto con los datos de capturas obtenidas de las series históricas, indican una disminución progresiva de la especie con una mayor abundancia de individuos de tallas pequeñas, por debajo de la talla mínima de referencia a efectos de conservación (TMREC), especialmente en la plataforma continental. La talla media de hembras y machos es de 27,5 cm y 23,8 cm respectivamente, lo que demuestra un crecimiento diferencial entre sexos, con una dominancia de machos en la plataforma continental donde predominan las tallas pequeñas y de hembras en los taludes donde predominan las tallas grandes. La merluza es una especie que se puede reproducir a lo largo de todo el año, pero durante los meses de otoño e invierno se da la máxima actividad reproductiva. La talla de primera madurez sexual (L_{50}) se estima en 29,5 cm y 23,2 cm para las hembras y machos respectivamente, evidenciando una disminución en sus valores respecto a estudios publicados previamente. Los resultados indican pues, que la población de merluza está sobreexplotada y que, a pesar de ser un recurso gestionado desde hace décadas, deberían aplicarse nuevos modelos de gestión para conservar sus poblaciones, que de lo contrario experimentarán una disminución lenta pero inevitable.

Abstract

The European hake (*Merluccius merluccius*) is one of the most important species of commercial interest in the Mediterranean Sea. Despite its management measures to guarantee a sustainable exploitation of the resource, it has decreased globally and its population parameters have varied over time. The study and update of the biological parameters of commercial species are essential to correctly apply fisheries management models and adjust the management to the reality of the resource at all times. For this reason, the main objective of this study is to characterize and update the biological and population parameters of hake on the Catalan coast, analyzing the historical and current status of its fishery, the structure and composition of its population, and its reproductive biology. The study area includes the Catalan coast, which was divided into northern, central and southern zones, where monthly bottom trawling samplings were conducted at 4 different depths, from 2019 to 2022. The biological measurements obtained from the hake caught by fishing trawling together with the catch data obtained from the historical series, indicate a progressive decline of the species with a greater abundance of small individuals, below the minimum conservation reference size (MCRS), especially on the continental shelf. The average size of females and males is 27,5 cm and 23,8 cm, respectively, showing a differential growth between sexes, with males being more abundant on the continental shelf, where small sizes predominate, and females being more abundant on the slopes, where large sizes predominate. Hake is a species that can reproduce throughout the year, but the maximum reproductive activity occurs during the autumn and winter months. The size at first sexual maturity (L_{50}) is estimated at 29,5 cm and 23,2 cm for females and males, respectively, evidencing a decrease in their values compared to previously published studies. The results, therefore, indicate that the hake population is overexploited and that, despite being a managed resource for decades, new management models should be applied to preserve their populations, which otherwise will experience a slow but inevitable decline.

Índex

| | |
|---|----|
| 1. Introducció..... | 7 |
| 2. Objectius..... | 10 |
| 3. Materials i mètodes..... | 10 |
| 3.1. Àrea d'estudi..... | 10 |
| 3.2. Mostreig..... | 11 |
| 3.2.1. Mostreig en embarcació..... | 11 |
| 3.2.2. Mostreig al laboratori..... | 12 |
| 3.3. Anàlisi de dades..... | 13 |
| 3.3.1. Anàlisi pesquer..... | 13 |
| 3.3.2. Anàlisi de dades biològiques..... | 13 |
| 4. Resultats..... | 14 |
| 4.1. Anàlisi pesquer..... | 14 |
| 4.2. Anàlisi biològic..... | 17 |
| 4.2.1. Estructura de la població..... | 17 |
| • Distribució de talles..... | 17 |
| - Distribució de talles anual..... | 17 |
| - Distribució de talles anual i per estrat de fondària..... | 17 |
| • Relació talla-pes..... | 18 |
| 4.2.2. Aspectes reproductius..... | 19 |
| • Sex-ratio..... | 19 |
| • Cicle reproductiu..... | 20 |
| • Talla de primera maduresa sexual (L ₅₀)..... | 21 |
| 5. Discussió..... | 23 |
| 6. Conclusió..... | 26 |
| 7. Referències..... | 27 |
| Annex..... | 29 |

1. Introducció

Els lluços (Fam. Merluccidae, *Merluccius* spp.) conforma un dels grups de peixos demersals més importants d'interès comercial a nivell mundial (Sylvia, 1995). De fet, es calcula que l'any 2020 es van pescar 107.619 t a nivell global i la producció mitjana dels darrers 40 anys és de 102.321 t \pm 22.148 t, amb valors que oscil·len entre un mínim de 57.914 t i un màxim de 141.996 t els anys 2001 i 2016, respectivament (FAO, 2023). El gènere *Merluccius*, que engloba 12 espècies (Inada, 1981), presenta una àmplia distribució geogràfica, amb certes discontinuïtats en latituds equatorials i als seus voltants (Lloris *et al.*, 2005).

El lluç europeu, *Merluccius merluccius* (Linnaeus, 1758), anomenat lluç d'ara en endavant, sol mesurar entre 20 i 70 cm i ocupa ambients demersals, habitant generalment fons de fang o sorra, a profunditats d'entre 30 i 500 m tant de la plataforma com del talús continental (García-Rodríguez & Esteban, 1995). El lluç es distribueix per l'Atlàntic nord-oriental, des de Noruega i el sud d'Islàndia fins a Mauritània, incloent el mar Mediterrani, on precisament hi constitueix una de les espècies objectiu més important de les seves pesqueries.

La pesca a la Mar Mediterrània compta amb una llarga història de comerç pesquer, una tradició mil·lenària (Sinopoli *et al.*, 2022). Aquest mar alberga algunes de les cultures més antigues del món i, durant més de 8.000 anys, ha estat explotada i gestionada per l'esser humà (Trump, 1980). Les referències a ella són abundants en els clàssics grecs i llatins, on el peix i els seus productes transformats, com el *garum*, eren de consum habitual per la gent (Lleonart, 2011). Prova d'això la trobem en les actuals Confraries de Pescadors, que tenen el seu origen en el segle XI. Entitats que, com es recull en el treball de la Universitat de Córdoba "Naturaleza y Régimen Jurídico de las Cofradías de Pescadores" constitueixen veritables ordenaments jurídics, doncs "regulaven de manera molt minuciosa l'activitat extractiva, indicant quines espècies podien capturar-se en cada època del any, i quins arts (ormeigs) eren els apropiats per a no produir un esgotament de les diverses espècies" (Rebollo Puig *et al.*, 1996). Des de llavors, els progressos tecnològics i els "nous" arts que s'han desenvolupat al llarg dels segles han incrementat la capacitat pesquera dels pobles costaners (Lleonart, 2011).

La introducció de l'ús del motor ara fa uns cent anys va provocar, al llarg de les últimes dècades del segle XX, un augment de la pressió pesquera que, juntament amb la degradació del medi ambient, va comportar greus conseqüències per l'estat del recursos pesquers a la Mediterrània (Trump, 1980). Aquest augment de la pressió pesquera ha reduït la productivitat de les poblacions comercials i ha contribuït a alterar el mateix rendiment i les funcions de l'ecosistema. L'estat fràgil resultant ha provocat una creixent preocupació per la Mediterrània i els seus recursos naturals. A més, a la sobrepesca s'afegeixen altres problemes, com el canvi climàtic, el qual afecta fortament a la biodiversitat marina essent un dels majors reptes per afrontar a l'actualitat. Les

dades ambientals indiquen que la temperatura del mar augmenta any rere any, acompanyant i més freqüentment a l'expansió d'espècies invasores, a fenòmens climàtics extrems i brots de malalties relacionades amb ells (Frigola-Tepe *et al.*, 2022, Gentilucci *et al.*, 2021, Lejeusne *et al.*, 2010). Altres factors que afecten els recursos naturals de la Mediterrània inclouen la contaminació, la pressió demogràfica i l'urbanisme descontrolat (Burak *et al.*, 2004), que sols o combinats, poden estar empitjorant les poblacions pesqueres d'espècies explotades comercialment.

La gestió dels recursos pesquers és una tasca complexa que implica diversos actors que, des d'un inici, es troben en diferents nivells d'interès (Camiñas, 2016). Segons la Unió Europea (UE), l'objectiu de gestionar un recurs pesquer és garantir la seva sostenibilitat i conservació, al mateix temps que es promou una pesca rentable i equitativa. La gestió pesquera al mar Mediterrani es regula per la Comissió General de Pesca del Mediterrani (GFCM), una organització regional d'organització pesquera creada el 1949 la qual exerceix un paper fonamental en la governança pesquera. A fi de promoure una gestió efectiva i sostenible dels recursos pesquers, la comissió divideix el Mediterrani en subàrees geogràfiques (GSA), que permeten la implementació de mesures específiques adaptades a les particularitats de cada regió.

En concret, el lluç és una de les espècies que s'ha vist més afectada per l'explotació pesquera. Els resultats de totes les avaluacions que s'han fet des del 1992 de les poblacions de lluç del Mediterrani occidental indiquen que la població està sobreexplotada i que, per tant, s'han de prendre mesures per tal de conservar l'estoc pesquer que, d'altra manera, es troba en declivi lent però inevitable (Recasens, 2017). El lluç, juntament amb quatre espècies més: el moll de fang (*Mullus barbatus*), l'escamarlà (*Nephrops norvegicus*), la gamba rosada (*Aristeus antennatus*) i la gamba blanca (*Parapenaeus longirostris*), ha estat inclòs a les mesures de gestió del reglament establert al 2019 per la Unió Europea dins el pla plurianual (MAP) per a les pesqueries d'espècies demersals del Mediterrani occidental (EU Reg. 508/2014). Aquest pla té com a objectiu assolir el rendiment màxim sostenible abans de l'any 2025 mitjançant l'aplicació de dues mesures principals de gestió: la regulació de l'esforç pesquer mitjançant l'assignació de dies de pesca a les embarcacions d'arrossegament i el tancament espai-temporal de zones de pesca (ICATMAR, 2022).

A Catalunya, les sèries anuals de captures de lluç al llarg de les dues últimes dècades mostren una disminució progressiva de l'espècie (ICATMAR, 2022). L'arrossegament, és la modalitat de pesca més important a la costa catalana i la que reporta més captures de lluç (Recasens, 1992). Aquesta pesca utilitza un art anomenat bou, que genera un efecte embut i, a mesura que s'arrossega pel fons, van quedant atrapades les diferents espècies (Demestre & Leonart, 1986). Es tracta doncs d'una pesqueria multiespecífica (Leonart & Maynou, 2003), que explota les comunitats demersals que viuen a la plataforma i al talús superior i inferior, d'on s'extreuen no

només les espècies objectiu d'interès comercial sinó també espècies que posseeixen escàs o nul valor comercial però que juguen un paper important en el funcionament dels ecosistemes marins (Browman & Stergiou, 2004). En el cas del lluç, la combinació d'un increment del esforç pesquer per part de la flota d'arrossegament i una captura majoritària d'individus juvenils de talla petita han contribuït a la sobreexplotació de l'espècie (Sinopoli *et al.*, 2022).

Altres modalitats de pesca com el palangre de fons, les soltes i els tresmallts també exploten el lluç tot i que reporten menys captures que l'arrossegament. Aquests arts de pesca formen part dels arts menors i tenen característiques diferents donat que cadascun d'ells captura una fracció diferent de la població (Recasens, 2017). Les soltes i els tresmallts, a diferència de l'arrossegament on el peix és capturat activament amb la xarxa, són arts passius ja que es calen de forma fixa sobre el fons i és el peix el que s'hi queda atrapat. Entre aquests dos arts de pesca, les soltes són més eficients i capturen una major proporció de lluç mentre que la captura amb tresmallts és anecdòtica. El palangre de fons és una modalitat de pesca professional passiva on es cala una línia molt llarga anomenada "mare", de la qual pengen a trams iguals uns fils d'1,5 a 3 metres de llarg anomenats "braçolades", a l'extrem dels quals hi ha un ham de la mida adient a l'espècie de peix que es vol capturar (UB & Generalitat de Catalunya Departament d'Agricultura, 2023). Hi ha diverses modalitats de palangre de fons segons el tipus d'ambient i l'espècie objectiu que es vol capturar.

L'anàlisi dels paràmetres biològics és de gran importància per comprendre i gestionar adequadament els recursos pesquers. Aquests paràmetres, proporcionen informació valuosa sobre el creixement, la reproducció, la fecunditat, la supervivència i la mortalitat de les espècies (Aldebert *et al.*, 1993), que, al seu torn, permeten determinar l'estat de les poblacions. Ignorar els paràmetres biològics pot portar a la sobreexplotació dels recursos pesquers (Kathena *et al.*, 2016). Així doncs, el seguiment continuat i l'actualització d'aquests paràmetres són fonamentals per assegurar la gestió adequada dels recursos pesquers.

Degut a la necessitat de desenvolupar un programa de seguiment i monitoratge dels recursos pesquers a fi de garantir-ne una gestió eficient, l'any 2017 es va crear a Catalunya l'ICATMAR (Institut Català de Recerca per a la Governança del Mar), un òrgan de cooperació entre la Direcció General de Política Marítima i Pesca Sostenible i l'Institut de Ciències del Mar (ICM-CSIC). Aquest òrgan, que basa la governança de les polítiques marítimes en el model de la cogestió, proporciona assessorament científic a través de la recopilació de dades biològiques i el seguiment de les espècies de major interès pesquer com el lluç.

Aquest treball de fi de grau s'emmarca dintre d'ICATMAR i pretén determinar quin és l'estat actual des del punt de vista biològic i demogràfic de les poblacions de lluç a la costa catalana mitjançant l'anàlisi de les dades històriques de captures i les dades biològiques obtingudes a través d'embarcacions que es dediquen a la pesca d'arrossegament. La informació resultant pot ser de

gran ajuda per millorar la seva gestió i desenvolupar estratègies de sostenibilitat pesquera a Catalunya.

2. Objectius

L'objectiu principal és caracteritzar i actualitzar els paràmetres biològics i poblacionals del lluç (*Merluccius merluccius*) a la costa catalana. Per abordar-ho, s'analitza:

- L'estat històric i actual de la pesqueria de lluç a la costa catalana
- L'estructura i composició de la població de lluç
- La biologia reproductiva de la població de lluç

3. Materials i mètodes

3.1. Àrea d'estudi

L'àrea d'estudi d'aquest treball ha estat la costa catalana, situada a la part nord-occidental del mar Mediterrani, i inclosa dins la subàrea geogràfica 6 (GSA 6), que engloba des del Cap de Creus fins a Cartagena (Resolució GFCM/33/2009/2). Tal i com es descriu a la regulació europea EU Reg. 1967/2006, la flota d'arrossegament pot pescar entre els 50 m (o 3 milles nàutiques de la costa) i els 1000 m de profunditat. En aquesta àrea, la pesqueria d'arrossegament té una forta estructura espacial determinada pels ports base de les flotes. Així doncs, les barques d'arrossegament estan obligades a desembarcar les seves captures diàriament i treballen cinc dies a la setmana amb un límit de 12 hores de pesca al dia (EC 1626/1994; EC 1967/2006).

Per tal de dur a terme un mostreig eficient i representatiu, es van seleccionar els nou ports pesquers més importants, tant pel que fa a captures desembarcades com ingressos econòmics generats per la pesca d'arrossegament. Aquests ports es van dividir en tres zones al llarg de la costa catalana, tenint en compte les diferents característiques hidrològiques i morfològiques de la plataforma continental (Clavel-Henry *et al.*, 2021): i) zona nord, que incloïa els ports de Roses, Palamós, Blanes i Arenys de Mar, ii) zona centre, que incloïa els ports de Barcelona, Vilanova i la Geltrú i Tarragona, iii) zona sud, que incloïa els dos ports principals de l'Ametlla de Mar i La Ràpita (Fig. 1) (ICATMAR, 2021).

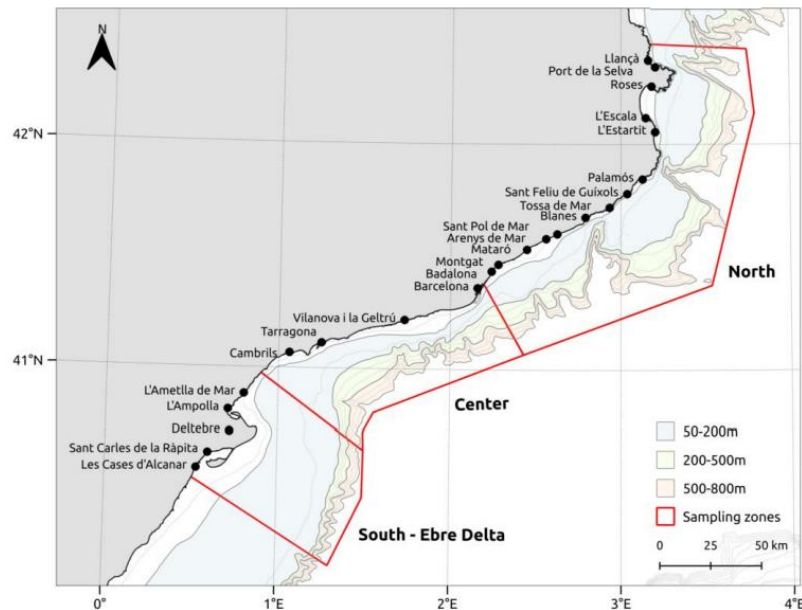


Figura 1. Mapa de la costa catalana on es representen els principals ports pesquers de Catalunya, les zones de mostreig i els tres estrats de fondària mostrejats: plataforma continental (blau), talús superior (verd) i talús inferior (vermell). Il·lustració presa d'ICATMAR, 2020.

3.2. Mostreig

3.2.1. Mostreig en embarcació

A cada port pesquer es va realitzar un embarcament d'arrossegament trimestral a bord d'una embarcació de pesca. Cada embarcament incloïa tres pesques experimentals i cada pesca es va dur a terme a una profunditat diferent. A les zones nord i centre, les tres pesques es van realitzar a la plataforma continental (76-200 m), al talús superior (201-500 m) i al talús inferior (501-800 m) respectivament. A la zona del Delta de l'Ebre, els estrats de fondària de les pesques van variar degut a la seva estructura geomorfològica, una major amplitud de la plataforma continental fa que tota l'activitat pesquera comercial tingui lloc exclusivament en aquest estrat. Així doncs, es va realitzar una pesca a la plataforma costanera (< 40 m), una a la plataforma mitjana (40 – 75 m) i l'última a la plataforma profunda (76 – 200 m) (Fig.1).

Cada pesca es va enregistrar amb un GPS i es va calcular la profunditat mitjana (m), la durada total de la pesca (h), la velocitat mitjana (km) i les característiques principals de l'art com l'obertura horitzontal (m) que obre la xarxa quan està pescant. Aquestes mesures es van utilitzar per calcular l'àrea escombrada (km²) i així poder estandarditzar els valors d'abundància (ind/km²) de lluç. La llum de malla de la xarxa utilitzada per a totes les pesques va ser la quadrada de 40 mm en el cop, excepte per a la pesca del talús inferior del port de Palamós on es va utilitzar una malla quadrada de 50 mm degut a que eren caladors de pesca inclosos dins del pla de cogestió de la gamba vermella i adoptaven mesures especials (ICATMAR, 2021).

A bord de l'embarcació, els pescadors van separar els exemplars de lluç capturats a cada pesca en dues categories principals: (i) la categoria comercial, composta pels exemplars de lluç amb talles comercials que es podien vendre a la llotja, i que, al seu torn, es dividia en varies categories de venda de lluç (gran, mitjà, petit) i (ii) la categoria de rebuig, composta per aquells individus que es trobaven per sota de la talla mínima de referència a efectes de conservació (TMREC), de 20 cm en el lluç, i que equival a la talla mínima legal de comercialització de l'espècie. De cada categoria, una mostra de 20 individus de lluç es guardava en caixes conservades amb gel i es transportava al laboratori pel seu posterior anàlisi biològic (Annex Fig. A1 A i B). Si el número d'exemplars de lluç era superior a 20 per categoria, la resta d'individus es mesuraven a bord (longitud total, al mm) mitjançant un ictiòmetre.

3.2.2. Mostreig al laboratori

Al laboratori de dissecció de l'Institut de Ciències del Mar (ICM), les caixes de lluç es van guardar a la nevera de 4°C i es van processar el dia posterior a l'embarcament. Per cada individu de cada categoria es van prendre diverses mesures a fi de calcular els paràmetres biològics principals de l'espècie. El pes total i el pes eviscerat de cada individu es van calcular mitjançant l'ús de balances amb una precisió de 0.1g (Fig. 2A). La talla es va determinar mesurant la longitud total (mm) mitjançant un ictiòmetre (Fig. 2B). El sexe es va determinar a través de l'estudi macroscòpic de la gònada, obrint la cavitat abdominal del peix, i es va classificar en mascles (M), femelles (F) i indeterminats (I), en el cas d'individus juvenils que encara no tenien la gònada ben desenvolupada. L'estat de maduresa sexual de les gònades de lluç es va determinar macroscòpicament seguint l'escala establerta per Recasens *et al.*, 2008, que classifica les gònades, tant de mascles com de femelles, en sis estadis principals: (1) immadur, (2) repòs, (3) madurant, (4) maduració avançada, (5) posta i (6) post-posta. El pes de la gònada i el pes del fetge es van calcular mitjançant l'ús de balances amb una precisió de 0.01g. El pes de la gònada es va utilitzar per calcular l'índex gonadosomàtic (IGS) a partir de la fórmula $IGS = Wg/We \times 100$ on Wg és el pes de la gònada i We és el pes eviscerat de l'individu. L'IGS és un índex de maduresa gonadal, útil per identificar el període reproductor de les espècies.

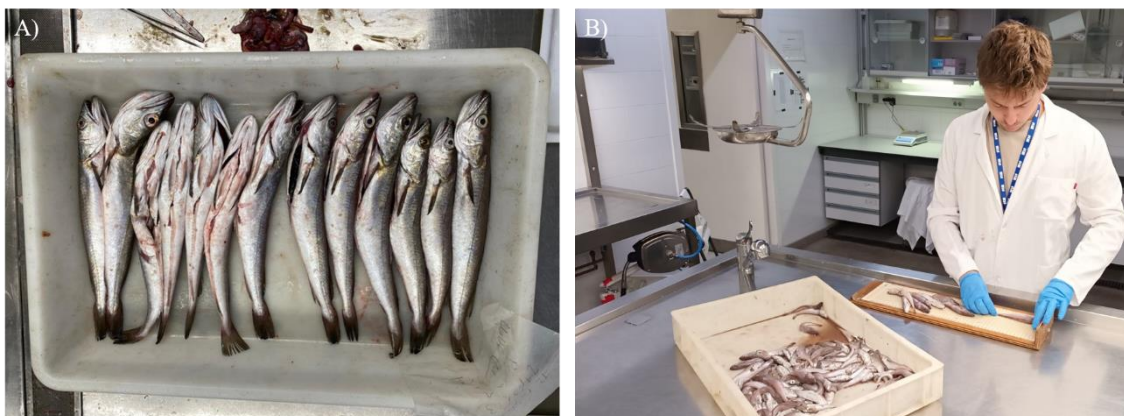


Figura 2. A) Individus de lluç eviscerats a punt de ser pesats al laboratori de dissecció. **B)** Mesura de la talla dels individus de lluç amb l'ictiòmetre al laboratori de dissecció.

3.3. Anàlisi de dades

3.3.1. Anàlisi pesquer

L'anàlisi de la pesqueria del lluç a la costa catalana es va tractar mitjançant l'estudi de l'evolució històrica de les captures (tones), els ingressos econòmics (k€) i el preu mitjà de primera venda (€/Kg) de lluç des del 2002 fins el 2022. Les dades es van obtenir de la base de dades del Microstrategy, que proporciona la Generalitat de Catalunya, on queden enregistrades les captures diàries per espècie de cada embarcació que ven a les llotges catalanes. A part dels valors anuals totals de captures de lluç per tot Catalunya, també es va filtrar per les principals modalitats de pesca que exploten el recurs amb l'objectiu de determinar tant l'evolució històrica de cada modalitat com la importància relativa de cada una d'elles en la captura de lluç.

3.3.2. Anàlisi de dades biològiques

L'anàlisi biològic per tal de caracteritzar i actualitzar els paràmetres biològics del lluç s'ha dut a terme utilitzant les dades dels embarcaments d'arrossegament realitzats a ICATMAR entre els anys 2019 i 2022, ambdós inclosos. Les distribucions de freqüències de talles de les captures de lluç es van obtenir a partir de la mitjana de l'abundància (ind/km²) de totes les pesques d'arrossegament i es van representar anualment i pels quatre estrats de fondària, dividint la captura entre la fracció comercial i la fracció del rebuig. La relació talla-pes del lluç es va calcular, tant pel pes total com pel pes eviscerat, per sexes a través de l'equació $W=aL^b$ on a i b són els paràmetres de creixement de l'espècie. Es va realitzar un test estadístic ANOVA per determinar si existien diferències en la relació talla-pes entre sexes. Pel que fa a la biologia reproductiva del lluç, la proporció de sexes (sex-ratio) es va avaluar globalment i pels quatre estrats de fondària. El test estadístic de proporcions (Z) es va utilitzar per identificar l'existència de diferències estadísticament significatives en la proporció de sexes global i per cada estrat de fondària. El cicle reproductiu del lluç per sexes es va determinar mitjançant el càlcul de la proporció mensual d'individus en cada un dels estats de maduresa sexual corresponents a les fases actives de reproducció (estats de 2 a 6). Per tant, l'estat de maduresa 1, corresponent als individus immadurs, es va excloure dels anàlisis. L'índex gonadosomàtic (IGS) es va calcular mensualment pels dos sexes i es va representar conjuntament amb els estats de maduresa sexual. Finalment, la talla de primera maduresa del lluç (L_{50}) per sexes es va estimar a partir de la proporció d'individus madurs i immadurs per cada classe de talla.

L'elaboració dels gràfics es va dur a terme a través del programa R Studio versió 4.2.1. Es van utilitzar diferents paquets d'R en funció del gràfic a desenvolupar: el ggplot per les distribucions de freqüència de talles, el ggplot2 per la relació talla-pes i el sizeMat pel càlcul de la talla de primera maduresa sexual. D'altra banda, els gràfics de sex-ratio i cicle reproductor es van obtenir mitjançant el programa de càlcul de Microsoft Excel.

4. Resultats

4.1. Anàlisi pesquer

L'evolució històrica, al llarg de les dues últimes dècades, de les captures i els ingressos econòmics generats de la venda de lluç a la costa catalana mostra una disminució progressiva de tots dos indicadors (Fig. 3). Es pot diferenciar un primer període marcat per oscil·lacions de les captures degut a pics periòdics de reclutament de l'espècie (anys 2006, 2008 i 2009) mentre que, a partir del 2010, s'observa una clara tendència decreixent fins assolir els valors més baixos l'any 2020.

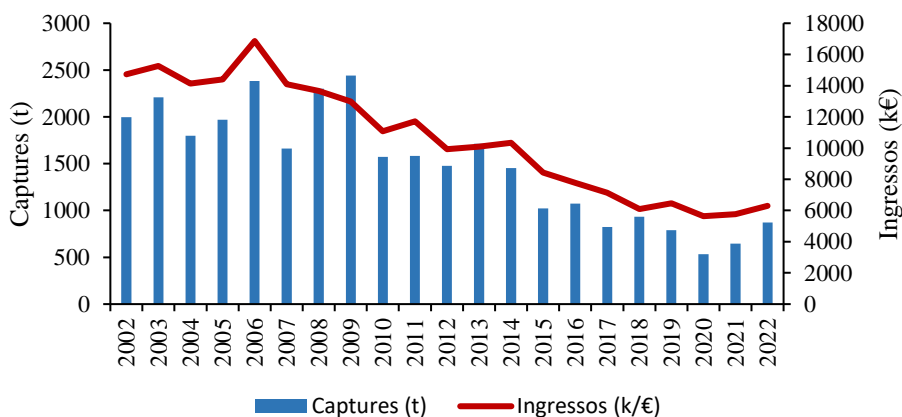


Figura 3. Sèrie històrica anual de captures (t) i ingressos econòmics (k€) de lluç (*Merluccius merluccius*) des del 2002 fins el 2022.

El preu mitjà de primera venda, per contra, es manté en valors pròxims a 8€/Kg fins al 2015, i a partir d'aquí incrementa lleugerament coincidint amb el mínim de captures reportat al llarg de tota la sèrie i per tant, indicant una correlació negativa entre les dues variables ja que la disminució de l'oferta (menys captures) resulta en un augment de la demanda (increment de preu) (Fig. 4).

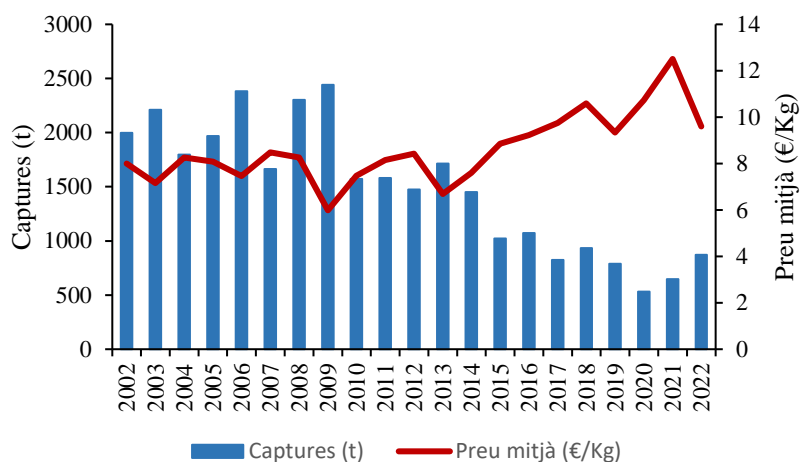


Figura 4. Sèrie històrica anual de captures (t) i preu mitjà de primera venda (€/Kg) de lluç (*Merluccius merluccius*) des del 2002 fins el 2022.

L'evolució de les captures i el preu mitjà de primera venda al llarg de les dues últimes dècades per a les tres modalitats de pesca que capturen lluç (Fig. 5), mostra com, en línies generals, el preu mitjà incrementa en les tres modalitats al llarg de la última dècada coincidint amb una disminució de les captures. S'observa com la modalitat de pesca que més lluç captura és l'arrossegament mentre que el palangre de fons és la que ven a un preu mitjà de primera venda més elevat, seguit de les soltes i els tresmalls.

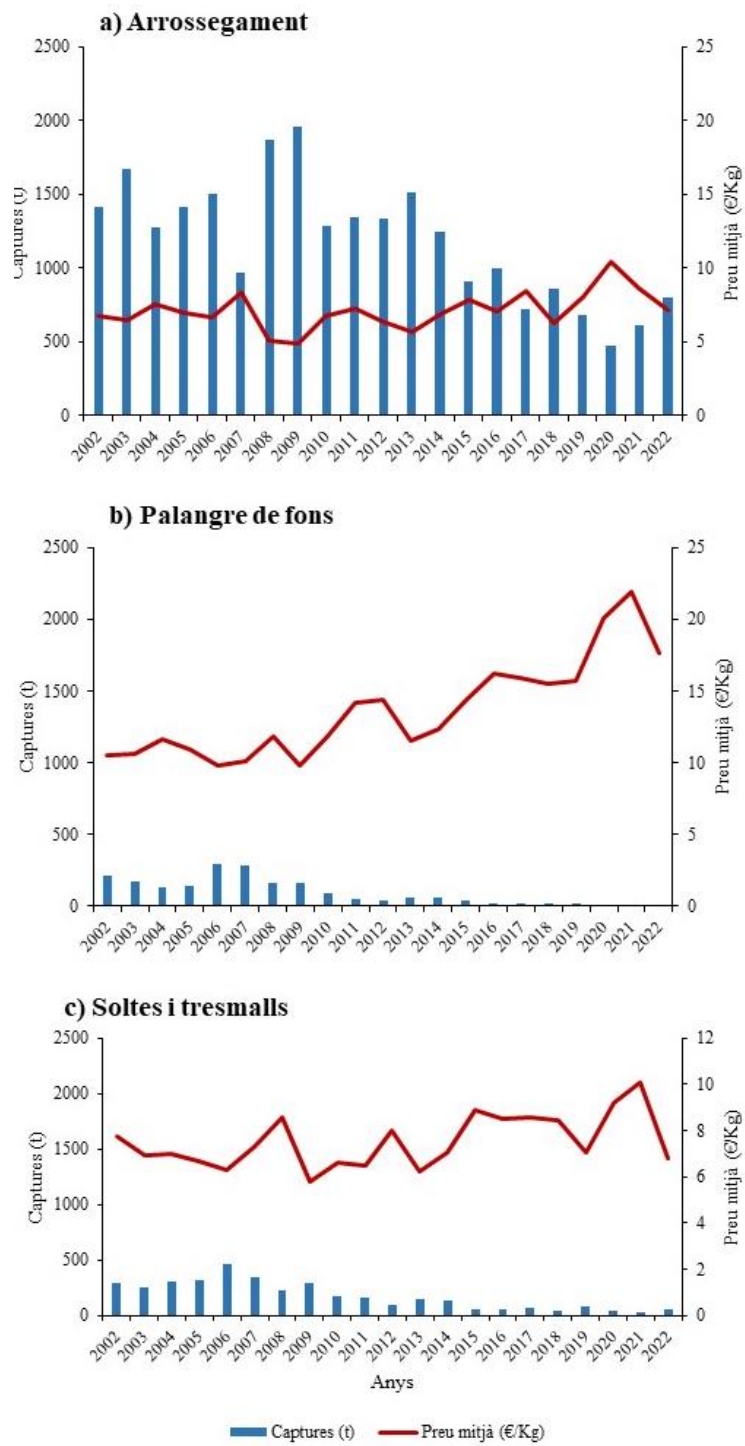


Figura 5. Sèrie històrica anual de captures (t) i preu mitjà de primera venda (€/Kg) de lluç (*Merluccius merluccius*) per les tres modalitats de pesca: arrossegament, palangre de fons i soltes i tresmall.

4.2. Anàlisi biològica

4.2.1. Estructura de la població

- **Distribució de talles**
 - **Distribució de talles anual**

Les distribucions de freqüències de talles de lluç d'arrossegament anuals des del 2019 al 2022 ens mostren una major abundància d'individus juvenils amb un predomini de talles petites per sota de la talla mínima de referència a efectes de conservació (TMREC) que, en el cas del lluç, és de 20 cm (EU Reg. 2019/1241). Aquesta talla indica la talla mínima legal de comercialització de l'espècie fet que es veu reflectit en que als 20 cm està situat el punt de tall que separa la captura en la fracció comercial (>20 cm) i la fracció de rebuig (<20 cm). El rang de talles capturat està situat entre 5 i 45 cm amb unes talles modals al voltant de 10 i 20 cm pels quatre anys (Fig. 6). En els anys 2019 i 2020 observem una baixa abundància poblacional del lluç per totes les talles capturades en comparació amb el 2021 i el 2022, quan les abundàncies són més altes i especialment de la fracció juvenil situada al voltant dels 15 cm, indicant que es podria haver donat un bon reclutament de l'espècie.

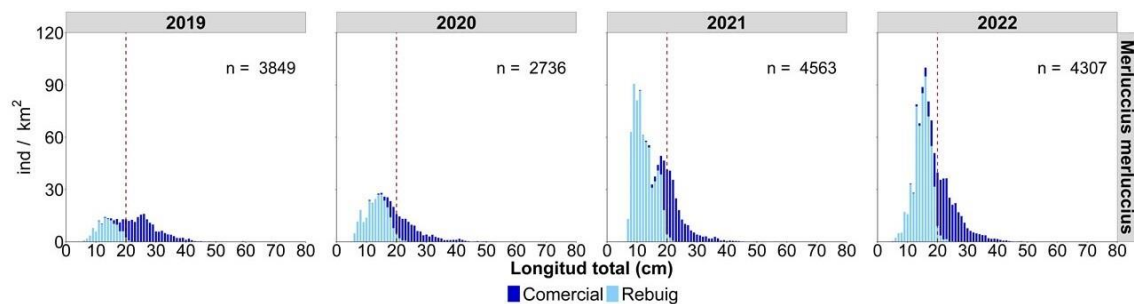


Figura 6. Distribució anual de freqüències de talla de lluç a partir de les captures obtingudes de les pesques d'arrossegament, separant entre la fracció comercial (blau fosc) i la fracció de rebuig (blau clar). La n indica el número total d'individus mesurats.

- **Distribució de talles anual i per estrat de fondària**

Les distribucions de freqüències de talles de lluç anuals des del 2019 al 2022 per estrat de fondària indiquen que la major abundància de lluços es troba a la plataforma continental, amb predomini d'individus de talles petites (10-20 cm) que corresponen a individus juvenils no reproductors i, en conseqüència, és a la plataforma on apareix la major proporció de rebuig de l'espècie (Fig. 7). S'observa com, a mesura que augmenta la profunditat, l'abundància de lluç disminueix però les talles capturades són més grans, amb una talla modal al talús superior i inferior situada al voltant dels 30 cm i 35 cm respectivament, que corresponen majoritàriament a exemplars adults.

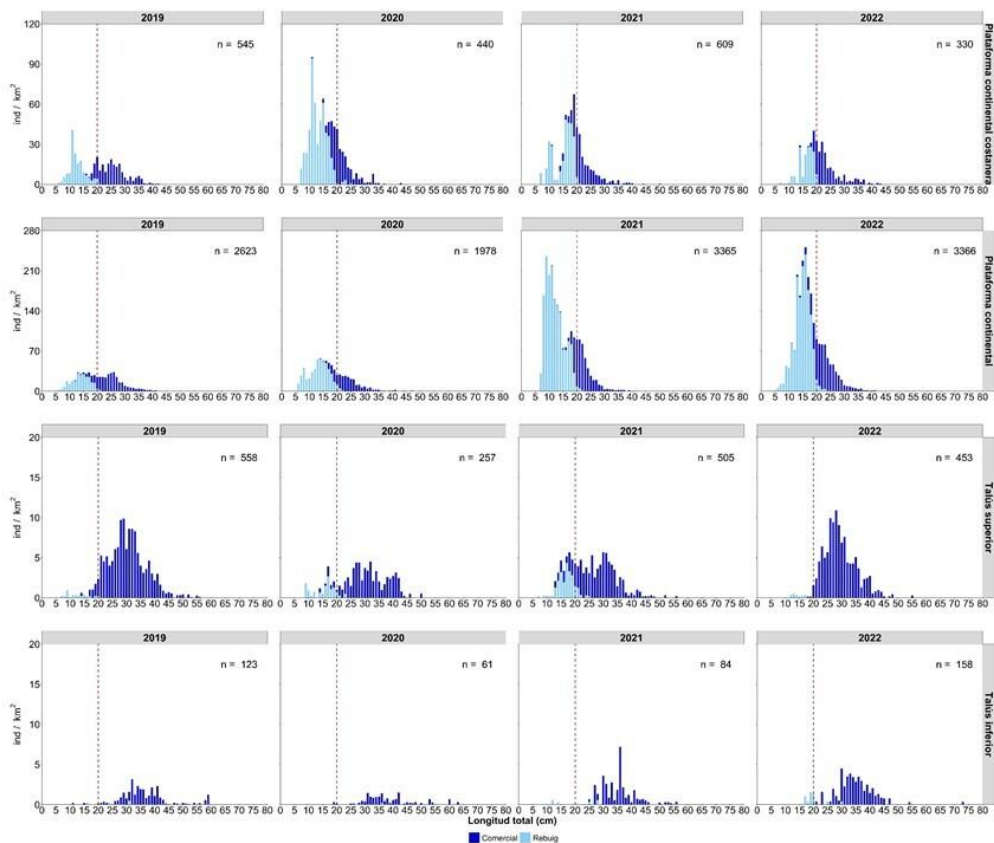


Figura 7. Distribució anual de freqüències de talla de lluç per estrat de fondària a partir de les captures obtingudes de les pesques d'arrossegament, separant entre la fracció comercial (blau fosc) i la fracció de rebuig (blau clar). La n indica el número total d'individus mesurats.

- **Relació talla-pes**

Per tal de determinar la relació talla-pes de l'espècie i obtenir els seus paràmetres de creixement s'han analitzat un total de 8.726 individus de lluç dels quals 4.142 són femelles i 3.947 són mascles. La relació talla-pes obtinguda (Annex Fig. A2 i A3) es defineix per l'equació $y = 0,0062x^{3,0482}$ amb un coeficient de determinació de $R^2 = 0,9804$ pel pes total (Annex Fig. A2) i $y = 0,0054x^{3,063}$ amb un coeficient de determinació de $R^2 = 0,9832$ pel pes eviscerat (Taula 1) (Annex Fig. A3). El paràmetre b assoleix valors lleugerament superiors a 3, indicant un creixement al·lomètric positiu de l'espècie, és a dir, un major guany proporcional en pes respecte l'increment de talla. Donat que existeixen diferències estadísticament significatives entre sexes tant pel pes total (ANOVA; $F = 19,24$; $p < 0,001$) com pel pes eviscerat (ANOVA; $F = 18,75$; $p < 0,001$), les relacions talla-pes també s'han tractat separatament per sexes.

Taula 1. Relació talla-pes del lluç a partir del pes total i del pes eviscerat tant per sexes combinats com separats. La n és el número d'individus, a i b són els paràmetres de creixement i la R^2 és el coeficient de determinació.

| | | n | a | b | R ² |
|---------------|----------|-------|--------|--------|----------------|
| Pes total | Combinat | 8.726 | 0,0062 | 3,0482 | 0,9804 |
| | F | 4.142 | 0,0063 | 3,0414 | 0,9817 |
| | M | 3.947 | 0,0060 | 3,0521 | 0,9802 |
| Pes eviscerat | Combinat | 8.726 | 0,0054 | 3,0630 | 0,9832 |
| | F | 4.142 | 0,0057 | 3,0495 | 0,9821 |
| | M | 3.947 | 0,0052 | 3,0781 | 0,9856 |

En el cas de les femelles, la relació talla-pes es regeix per l'equació $y = 0,0063x^{3,0414}$ amb una $R^2 = 0,9817$ pel pes total (Annex Fig. A2) i $y = 0,0057x^{3,0495}$ amb una $R^2 = 0,9821$ pel pes eviscerat (Annex Fig. A3). En els mascles, la relació talla-pes es defineix per l'equació $y = 0,006x^{3,0521}$ amb una $R^2 = 0,9802$ pel pes total i $y = 0,0052x^{3,0781}$ amb una $R^2 = 0,9856$ pel pes eviscerat (Taula 1). Les femelles presenten un rang de talles més ampli, situat entre 10 i 60 cm amb una talla mitjana de 27,5 cm. Per contra, els mascles presenten un rang de talles més estret, entre 10 i 40 cm amb una talla mitjana menor (23,8 cm). En concordança amb les talles, les femelles també presenten els individus més pesats (Annex Fig. A2 i A3).

4.2.2. Aspectes reproductius

- **Sex-ratio**

D'un total de 8.726 exemplars analitzats del 2019 al 2022, 4.142 eren femelles (47,5%), 3.947 eren mascles (45,2%) i 637 (7,3%) individus indeterminats. La sex-ratio de la població pels quatre anys d'estudi, expressada com el número de mascles respecte el número de femelles (M:F), difereix de la proporció esperada 1:1 ($X^2 = 4,65$; $p < 0,05$). Si analitzem la sex-ratio per estrat de fondària, la proporció de sexes difereix de l'esperada 1:1 en totes les profunditats. A la plataforma continental costanera (387:689; $X^2 = 84,20$; $p < 0,05$), al talús superior (488:1.001; $X^2 = 176,05$; $p < 0,05$) i al talús inferior (72:277; $X^2 = 119,24$; $p < 0,05$) predominen les femelles mentre que a la plataforma continental (2.942:2.126; $X^2 = 131,06$; $p < 0,05$) ho fan els mascles.

La proporció de sexes per classe de talla varia en funció de l'estrat de fondària (Fig. 8). S'observa com a la plataforma continental la proporció de sexes és equitativa entre els individus de 10 i 20 cm, favorable als mascles en les talles entre 20 i 30 i, a partir dels 30 cm, s'esbiaixa cap a les femelles, dominant aquestes les talles més grans. Per contra, en els dos talussos, la proporció de

sexes és favorable a les femelles en tot el rang de talles donat que en aquestes profunditats dominen els exemplars més grans.

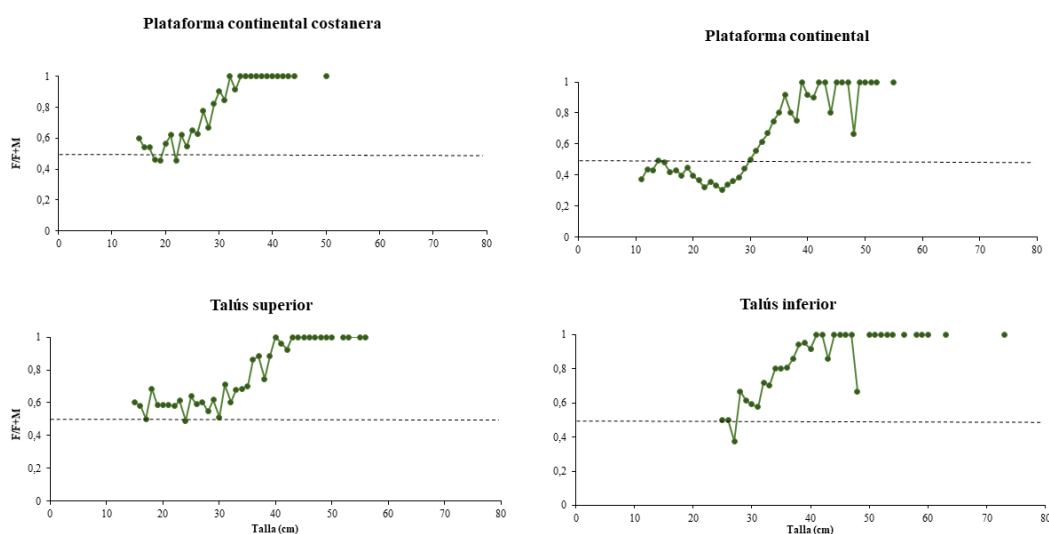


Figura 8. Proporció de sexes de lluç (sex-ratio) per classe de talla en cada estrat de fondària. La línia discontinua marca el punt on la proporció és 1:1, 50% dels individus per cada sexe.

- **Cicle reproductiu**

El cicle reproductiu s'ha determinat mensualment agrupant els quatre anys d'estudi (2019-2022). El lluç no té una posta estacional sinó que podem trobar exemplars d'ambdós sexes reproductivament actius al llarg de tot l'any (Fig. 9). S'observa que la presència de femelles en estadis sexuals de maduresa avançada (4), posta (5) i post-posta (6) és més alta durant els mesos de tardor i hivern mentre que la presència de femelles en repòs (2) predomina durant els mesos de primavera i estiu. Aquests resultats coincideixen amb els valors del IGS i per tant, els valors més elevats d'IGS es donen als mesos d'activitat reproductiva, coincidint amb la major proporció d'estadis 4-6. En el cas dels mascles s'observa que es mantenen madurs al llarg de tot l'any. La presència de mascles en estadis de maduresa sexual avançada (4), posta (5) i post-posta (6) és alta i supera el 50% mentre que la proporció d'exemplars en repòs (2) és menor al 20%. De la mateixa manera, els valors mensuals d'IGS són molt més baixos que en el cas de les femelles i es mantenen constants al llarg de l'any.

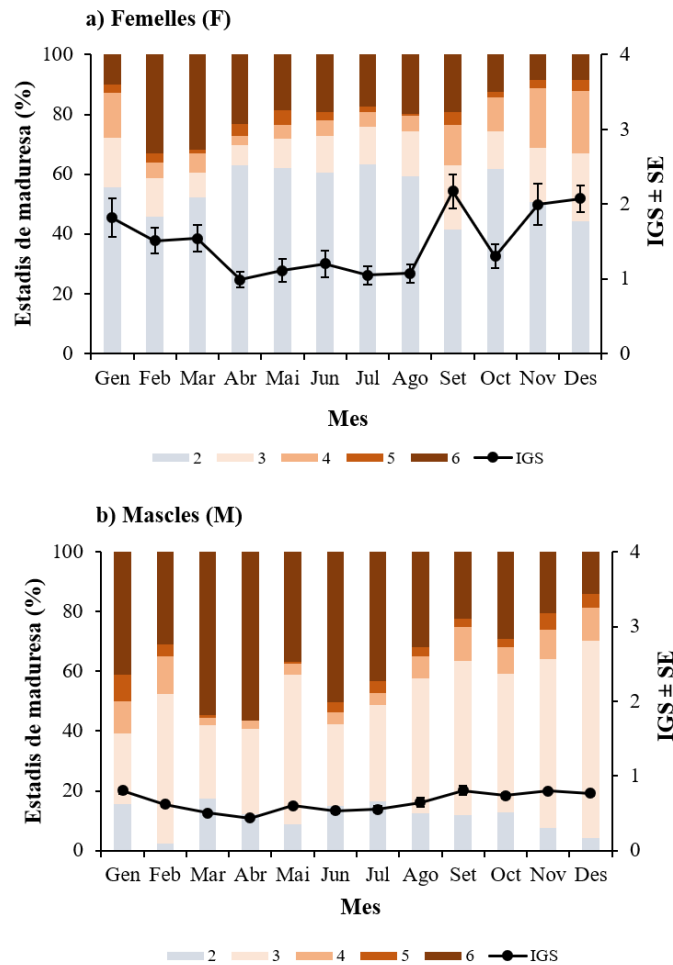


Figura 9. Cicle reproductiu mensual del lluç per sexes on les barres representen els estadis de maduresa sexual (%) i la línia negra el resultat de l'índex gonadosomàtic (IGS ± SE). Els colors de les barres indiquen els estats sexuals: 2 (repòs); 3 (madurant); 4 (maduració avançada); 5 (posta) i 6 (post-posta).

- **Talla de primera maduresa sexual (L₅₀)**

La talla de primera maduresa (L₅₀), talla on el 50% del individus han madurat almenys una vegada, s'ha determinat en 29,5 cm per les femelles i 23,2 cm pels mascles, amb un coeficient de correlació (R²) de 0,66 i 0,54 respectivament (Fig. 10A i B). Així doncs, els mascles maduren sexualment abans que les femelles. Els individus per sota dels 20 cm són pràcticament tots immadurs independentment del sexe. Per contra, la talla a partir de la qual tots els individus són sexualment madurs varia en funció del sexe. En els mascles es situa als 30 cm mentre que, en el cas de les femelles es situa sobre els 40 cm, indicant una maduresa sexual més tardana.

Els valors de talla de primera maduresa de lluç obtinguts en aquest estudi s'han comparat amb els d'altres treballs publicats en diferents àrees del mar Mediterrani des de la dècada dels 80 fins l'actualitat. En línies generals, s'observa com aquests valors han experimentat una reducció al

llarg de les últimes dècades, essent les publicacions més recents les que mostren valors de L_{50} més baixos per ambdós sexes.

Taula 2. Valors de talla de primera maduresa sexual (L_{50}) de lluç per sexe en diferents àrees del mar Mediterrani, ordenats de més antics a més moderns. S'especifica la subàrea geogràfica (GSA) d'on prové el valor de L_{50} i la referència bibliogràfica.

| Àrea | GSA | Sexe | L_{50} (cm) | Referència |
|---------------------|-----|------|---------------|-----------------------------------|
| Mar Català | 6 | F | 39,0 | Sánchez and Martín, 1985 |
| | | M | 32,0 | |
| Mar Adriàtic (Nord) | 17 | F | 31,3 | Alegria Hernández and Jukic, 1992 |
| Illes Balears | 5 | F | 36,3 | Reñones <i>et al.</i> , 1995 |
| Algèria | 4 | F | 30,6 | Bennoui <i>et al.</i> , 1998 |
| Golf de Lleó | 7 | F | 38,0 | Recasens <i>et al.</i> , 1998 |
| | | M | 28,8 | |
| Estret de Sicília | 16 | F | 33,5 | Ragonese <i>et al.</i> , 2004 |
| Mar Català | 6 | F | 35,8 | Recasens <i>et al.</i> , 2008 |
| Mar Tirrè (Nord) | 9 | F | 35,3 | |
| Egipte | 26 | F | 32,5 | Absawy and Abd, 2010 |
| Tunísia (Nord) | 12 | F | 28,8 | Khoufi <i>et al.</i> , 2014 |
| Mar Tirrè (Sud) | 10 | F | 33,0 | Carbonara <i>et al.</i> , 2019 |
| Sardenya | 11 | F | 30,0 | |
| Mar Adriàtic (Sud) | 18 | F | 32,0 | |
| Mar Jònic (Est) | 19 | F | 33,0 | |
| Mar Adriàtic (Nord) | 17 | F | 30,8 | |
| Mar Adriàtic (Nord) | 17 | M | 18,6 | Candelma <i>et al.</i> , 2021 |
| Mar Català | 6 | F | 29,5 | Estudi actual |
| | | M | 23,2 | |

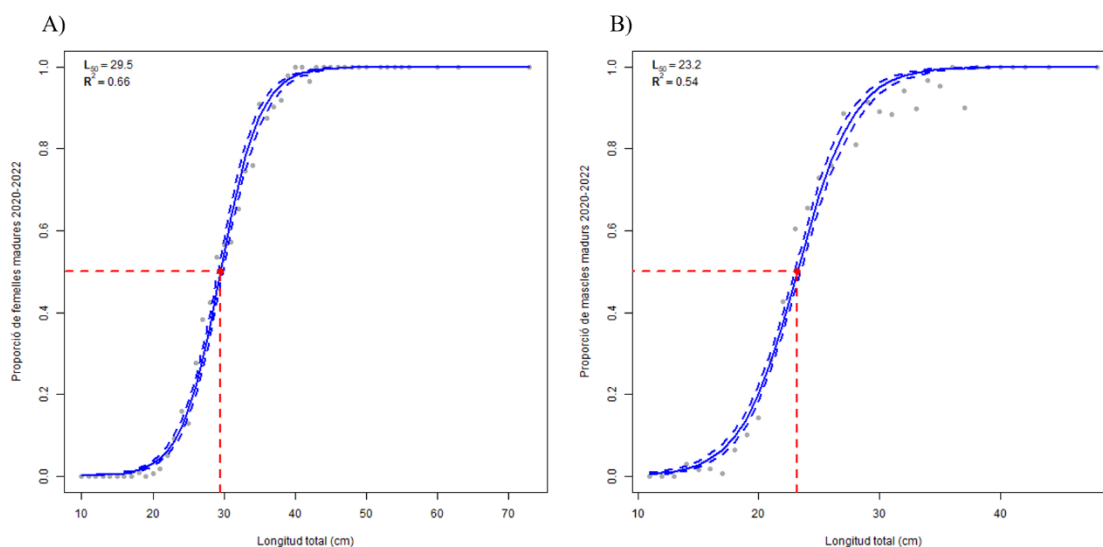


Figura 10. **A)** Representació de la corba de maduresa i la talla de primera maduresa sexual (L_{50}) de femelles de lluç des del 2019 al 2022. **B)** Representació de la corba de maduresa i la talla de primera maduresa sexual (L_{50}) de mascles de lluç des del 2019 al 2022.

5. Discussió

El present estudi sobre el lluç, *Merluccius merluccius*, a la costa catalana mostra, entre d'altres resultats, una important reducció de les seves captures així com una reducció de la talla de primera maduresa sexual. Aquests paràmetres semblen estar directament relacionats amb una sobreexplotació del recurs pesquer, malgrat que durant dècades s'han aplicat mesures de gestió per garantir-ne la sostenibilitat (Morales-Nin *et al.*, 2022). Un dels objectius principals de la gestió pesquera és permetre una explotació sostenible mantenint un nivell de biomassa reproductora adequat per a garantir la renovació de la població (Candelma *et al.*, 2021). És per aquest motiu que el coneixement i l'actualització de paràmetres poblacionals com la relació talla-pes, la talla de primera maduresa, el reclutament, i aspectes lligats al cicle reproductiu, són essencials per a quantificar l'estoc de lluç i comparar la seva situació amb el passat o amb altres zones que presentin diferents nivells d'intensitat de pesca (Chen *et al.*, 2003).

Les captures de lluç al Mar Mediterrani mostren un descens continuat des dels anys 80-90, amb una captura de 17324 t l'any 2020 (FAO, 2022). Tot i això, a nivell del Mediterrani, el lluç encara és la sisena espècie que reporta més captures. La tendència a disminuir les captures també s'observa a Catalunya, on en les dues últimes dècades s'han reduït aproximadament a la meitat. En detall, els resultats de l'estudi mostren oscil·lacions en les captures, probablement degut a pics puntuals de reclutament, però a partir del 2010 hi ha una clara tendència decreixent de la població, essent un any on precisament es va quantificar un descens del reclutament de lluç en diverses àrees del mar Mediterrani (Sion *et al.*, 2019). Aquesta disminució en les captures comporta un

augment en el preu mitjà de primera venda de l'espècie en els mercats i, en el Mar Mediterrani i el Mar Negre, es va recaptar 177 USD de la venda de lluç l'any 2020 (FAO, 2022). La situació planteja importants reptes per a la indústria pesquera i l'explotació sostenible del lluç al Mediterrani.

Un dels reptes més importants que tenen les pesqueries d'arrossegament és la reducció de la fracció del rebuig, altrament dit, aquelles espècies tant no comercials com d'interès comercial que no es poden comercialitzar degut a que no assoleixen la TMREC (Sánchez *et al.*, 2004). Les captures de lluç obtingudes de les pesques d'arrossegament entre els anys 2019 i 2022 mostren elevades abundàncies d'individus per sota de la talla mínima legal, especialment durant els anys 2021 i 2022, fet que podria indicar un bon reclutament de l'espècie els anys anteriors que es tradueix en un increment d'individus juvenils (Maynou *et al.*, 2003). Els reclutes i juvenils de lluç poden trobar-se al llarg de tot l'any en el Mediterrani, tot i que el pic màxim de reclutament varia segons la zona, l'estacionalitat i la profunditat (Leonart, 2001). La distribució de talles de lluç mostra com aquestes abundàncies de reclutes varien en funció de l'estrat de fondària, disminuint amb l'increment de profunditat. Aquests resultats coincideixen amb els d'altres estudis publicats a la mateixa zona que documenten elevades abundàncies de la fracció de rebuig (Blanco *et al.*, 2022) i de reclutes de lluç (Maynou *et al.*, 2003) als caladors de la plataforma continental i una disminució progressiva als talussos. Els juvenils de lluç es limiten a profunditats inferiors als 400 m i es concentren majoritàriament a les dues plataformes continentals, mostrant els màxims valors d'abundància a profunditats d'entre 76 i 200 m. Per altra banda, els adults apareixen al llarg de tot el rang de fondàries, i no mostren cap correlació amb la distribució de reclutes (Maynou *et al.*, 2003). Els adults joves (30-40 cm) es troben distribuïts en tots els estrats de profunditat mentre que els individus adults més grans (>50 cm) predominen als talussos. Aquests resultats són equivalents a la distribució de la població de lluç per fondària reportada al Golf de Lleó (Recasens *et al.*, 1998) i a la costa catalana (Maynou *et al.*, 2003).

La proporció de sexes o sex-ratio per classe de talla difereix de la proporció esperada 1:1, que equival al 50% d'individus de cada sexe, mostrant una major proporció de mascles a talles petites (<30 cm), coincidint amb les talles en que les femelles encara no han assolit la maduresa sexual (Recasens *et al.*, 2008) mentre que a talles més grans (30-40 cm) predominen les femelles. Aquestes diferències entre sexes són fruit d'un creixement diferencial entre mascles i femelles (Recasens *et al.*, 1998). Altres publicacions reporten resultats similars amb un predomini de femelles de lluç a mesura que s'incrementa la talla fruit d'un creixement més lent en mascles (Khoufi *et al.*, 2014). La disminució de la taxa de creixement en el moment que l'individu assoleix la maduresa sexual lligat al fet que els mascles maduren sexualment abans que les femelles implica una taxa de creixement més alta en femelles, especialment a partir del segon any de vida (Mellon-Duval *et al.*, 2010).

L'anàlisi macroscòpic de les gònades indica que el lluç té una reproducció activa al llarg de tot l'any degut a la presència d'individus, tant de mascles com de femelles, en estadis de maduració avançada al llarg de tots els mesos mostrejats. Resultats similars han estat documentats tant al mar català (Recasens *et al.*, 2008) com a diferents àrees del mar Mediterrani (Absawy & Abd, 2010, Carbonara *et al.*, 2019, Khoufi *et al.*, 2014) confirmant un període de posta continuat al llarg de tot l'any. Aquest fet es veu recolzat amb resultats d'altres estudis que demostren tant la presència d'ous i larves de lluç com d'individus juvenils o reclutes (Recasens *et al.*, 1998) al llarg de tot l'any, amb pics estacionals de màxima abundància. Avaluar la maduresa sexual macroscòpicament és un mètode ràpid i barat, però no és tan precís com estudis histològics, ja que pot haver un cert biaix que sol estar relacionat amb descripcions incoherents dels estadis de maduresa (Carbonara *et al.*, 2019). Per això s'acompanya de l'IGS, i el fet que els resultats coincideixen amb l'assignació macroscòpica donada al nostre estudi indica una classificació acurada dels estadis de maduresa sexual (Carbonara *et al.*, 2019). S'observa una activitat reproductiva des de finals d'estiu fins l'hivern pels dos sexes amb dos pics de posta situats a la tardor en el cas de les femelles, coincidint amb els màxims valors del IGS, tal i com es reporta en publicacions anteriors del mediterrani nord-occidental, que indiquen un període de màxima posta situat a la tardor (Recasens *et al.*, 1998) i al hivern (Ferrer-Maza *et al.*, 2014) al Golf de Lleó i a la tardor en el mar català (Recasens *et al.*, 2008). Altres estudis realitzats en altres regions del Mediterrani senyalen pics de màxima activitat reproductiva del lluç a l'hivern en el Mediterrani central, a la primavera-estiu en el mar Adriàtic (Candelma *et al.*, 2021, Mascoli *et al.*, 2023) i al hivern-primavera en el Mediterrani oriental (Absawy & Abd, 2010). Així doncs, les diferències observades en l'època i la durada del període reproductor del lluç entre àrees poden estar influenciades per factors intrínsecs com el cicle de vida, la condició o el parasitisme, o bé factors extrínsecs com la temperatura, les corrents, la disponibilitat de depredadors o la pol·lució (Carbonara *et al.*, 2019, Ferrer-Maza *et al.*, 2014, Recasens *et al.*, 2008).

La talla de primera maduresa sexual (L_{50}) és un paràmetre biològic essencial que juga un paper crucial en la gestió dels estocs pesquers (Candelma *et al.*, 2021). En aquest estudi, la talla de primera maduresa sexual de lluç s'ha establert en 29,5 cm i 23,2 cm per femelles i mascles respectivament, evidenciant que els mascles maduren abans que les femelles. Si comparem els valors de L_{50} obtinguts amb els publicats prèviament al Mediterrani (Taula 2), es posa de manifest la poca informació disponible sobre la talla de primera maduresa sexual en mascles de lluç. En general, s'observa com les publicacions més antigues, de la dècada dels anys 80-90, presenten valors de L_{50} de lluç més elevats comparat amb els més actuals (Taula 2). Aquesta reducció en el temps es podria explicar per respostes fenotípiques a les variacions ambientals o bé, com a conseqüència de la pressió selectiva que exerceix l'increment de l'esforç pesquer (Barot *et al.*, 2004) i que es tradueix en la necessitat d'una maduració sexual més primerenca a fi de permetre

la descendència abans de ser capturats pels arts de pesca. En aquest cas, doncs, la reducció de la L_{50} seria un clar indicador de la sobreexplotació de l'espècie per part de la pesca. La L_{50} resultant d'aquest estudi contrasta amb la talla mínima de referència a efectes de conservació (TMREC), de 20 cm pel lluç en els caladors mediterranis, indicant la captura excessiva d'individus sexualment immadurs que encara no s'han reproduït. En aquest context, l'increment sostingut de l'esforç pesquer pot derivar en un estat de sobreexplotació permanent de l'espècie, provocant una disminució de la biomassa reproductora fins al col·lapse (Candelma *et al.*, 2021). Al seu torn, la pèrdua de biomassa per sobrepesca pot afectar negativament la supervivència de l'espècie davant de condicions ambientals desfavorables (Mascoli *et al.*, 2023).

Des dels anys 80, la sobreexplotació pesquera i el declivi general dels recursos pesquers causats en gran part per la creixent demanda alimentària i per la degradació del medi ambient, han estat objecte de preocupació i causen la necessitat d'adoptar mesures de gestió eficients, en base al coneixement transmès des de l'àmbit científic (Mascoli *et al.*, 2023). En aquest context, el lluç és un recurs comercial important en les pesqueries demersals del mar Mediterrani que ha estat sotmès a una sobreexplotació continua al llarg de les últimes dècades fet que encara fa més essencial l'estudi dels seus paràmetres biològics per tal de proporcionar informació fiable que permeti dur a terme mesures de gestió efectives (Candelma *et al.*, 2021). El present treball analitza i actualitza els principals indicadors biològics del lluç a la costa catalana a partir de dades obtingudes de pesques experimentals realitzades a bord d'embarcacions d'arrossegament. L'enfoc multidisciplinari a través d'una diversitat de paràmetres biològics proporciona el coneixement necessari per protegir el recurs pesquer i garantir una explotació sostenible de l'espècie.

6. Conclusió

En el present estudi s'ha documentat com la majoria de les captures de lluç a la costa catalana provenen de la modalitat de pesca d'arrossegament, alhora que s'observa una clara disminució de les captures i els ingressos econòmics al llarg de les darreres dècades per totes les modalitats que reporten captures de l'espècie. La major part de les captures de lluç es donen a la plataforma continental i es correspon a individus juvenils per sota la talla mínima de referència a efectes de conservació (20 cm), mentre que als talussos dominen les talles més grans, que es corresponen majoritàriament a individus adults. Pel que fa a la sex-ratio, els mascles predominen en les talles petites, especialment entre 20 i 30 cm, mentre que a partir de 30 cm la proporció s'esbiaixa cap a les femelles, indicant un creixement diferencial entre sexes. La reproducció de l'espècie es dona al llarg de tot l'any si ve s'observa més presència d'individus sexualment actius a la tardor i l'hivern. És important destacar que la talla de primera maduresa (L_{50}) és de 29,5 cm en femelles

i 23,2 cm en mascles, evidenciant que els mascles maduren abans que les femelles. A més, s'observa una reducció dels valors de L_{50} de lluç en el mar Mediterrani des de la dècada dels 80 fins l'actualitat, que es relaciona amb una sobreexplotació pesquera del recurs. En aquest sentit, l'estudi i actualització dels paràmetres biològics d'espècies comercials sobreexplotades com el lluç és de vital importància per aplicar mesures de gestió adequades que garanteixin la conservació de l'espècie i una explotació sostenible de les seves pesqueries.

7. Referències

- Absawy M, Abd E-G. 2010. The reproductive biology and the histological and ultra structural characteristics in ovaries of the female Gadidae fish *Merluccius merluccius* from the Egyptian Mediterranean water. *African Journal of Biotechnology* 9: 2544–59
- Aldebert Y, Recasens L, Leonart J. 1993. Analysis of gear interactions in a hake fishery: The case of the Gulf of Lions (NW Mediterranean). *Scientia Marina* 57: 217
- Alegria Hernández V, Jukic S. 1992. Abundance dynamics of the hake (*Merluccius merluccius* L.) from the middle Adriatic Sea. *Bull. Inst. Océanogra.*: 151-61
- Barot S, Heino M, O'Brien L, Dieckmann U. 2004. Estimation of reaction norm for age and size at maturity with missing first-time spawner data. *Evol. Ecol. Res.* 6: 659–78
- Bennoui A, Bouaziz A, Djabali F, Maurin C. 1998. Reproduction du merlu *Merluccius merluccius* (Linnaeus, 1758) dans la région de Bou-Ismaïl. *Cahiers Options Méditerranéennes* 35: 109-17
- Blanco M, Nos D, Lombarte A, Recasens L, Company JB, Galimany E. 2022. Characterization of discards along a wide bathymetric range from a trawl fishery in the NW Mediterranean. *Fisheries Research* 258: 10
- Browman H, Stergiou K. 2004. Perspectives on ecosystem-based approaches to the management of marine resources. *Marine Ecology Progress Series* 274: 303
- Burak S, Doğan E, Gazioğlu C. 2004. Impact of urbanization and tourism on coastal environment. *Ocean & Coastal Management* 47: 515-27
- Camiñas A. 2016. Cooperación Científica Internacional para la gestión pesquera del Mar Mediterráneo: Un siglo del centro Oceanográfico de Málaga (IEO). *Comunicaciones Científicas* 93: 16
- Candelma M, Marisaldi L, Bertotto D, Radaelli G, Gioacchini G, et al. 2021. Aspects of Reproductive Biology of the European Hake (*Merluccius merluccius*) in the Northern and Central Adriatic Sea (GSA 17-Central Mediterranean Sea). *Marine Science and Engineering* 9: 389
- Carbonara P, Porcu C, Donnalioia M, Pesci P, Sion L, et al. 2019. The spawning strategy of European hake (*Merluccius merluccius*, L. 1758) across the Western and Central Mediterranean Sea. *Elsevier* 219: 13
- Chen Y, Chen L, Stergiou K. 2003. Impacts of data quantity on fisheries stock assessment. *Aquat. Sci.* 65: 98
- Clavel-Henry M, Solé J, Bahamon N, Carretón M, Company JB. 2021. Larval transport of *Aristeus antennatus* shrimp (Crustacea: Decapoda: Dendrobranchiata: Aristeidae) near the Palamós submarine canyon (NW Mediterranean Sea) linked to the North Balearic Front. *Progress in Oceanography* 192: 10
- Demestre M, Leonart J. 1986. *Oceanografía: Recursos pesqueros de la mar catalana*. pp. 147.
- FAO. 2022. The State of the Mediterranean and Black Sea Fisheries, Rome

- FAO. 2023. *Merluccius merluccius* Linnaeus, 1758. In *Fisheries and Aquaculture Division*. Rome, FAO. <https://www.fao.org/fishery/en/aqspecies/hke>
- Ferrer-Maza D, Lloret J, Munoz M, Faliex E, Vila S, Sasal P. 2014. Parasitism, condition and reproduction of the European hake (*Merluccius Merluccius*) in the northwestern Mediterranean Sea. *ICES J. Mar. Sci.* 71: 1088–99
- Frigola-Tepe X, Caballero-Huertas M, Viñas J, Muñoz M. 2022. Influence of Thermal Regimes on the Relationship between Parasitic Load and Body Condition in European Sardine along the Catalan Coast. *Fishes* 7: 358
- García-Rodríguez M, Esteban A. 1995. Algunos aspectos sobre la biología y pesca de la merluza mediterránea *Merluccius merluccius* (Linnaeus, 1758) en la Bahía de Santa Pola (sureste de la península Ibérica). *Centro Oceanográfico de Murcia. Instituto Español de Oceanografía* 11: 3-25
- Gentilucci M, Parisi C, Coppola MR. 2021. Influence of Mediterranean Sea Temperature Increase on Gaeta Gulf (Tyrrhenian Sea) Biodiversity. *Proc Zool Soc* 74: 91–103
- ICATMAR. 2020. State of Fisheries in Catalonia. Part 1: Methods and Results, Barcelona
- ICATMAR. 2021. State of fisheries of Catalonia 2021, Part 1: report on the monitoring of the commercial fishing fleet, Barcelona
- ICATMAR. 2022. Evolució de les Captures i els Preus de Venda del Sector Pesquer a Catalunya: Comparativa 2021-2022, Barcelona
- Kathena J, Nielsen A, Høgsbro Thygesen U, Berg C. 2016. Hake species (*Merluccius capensis* and *M. paradoxus*) assessment in the Benguela Current Large Marine Ecosystem. *Environmental Development* 17: 201
- Khoufi W, Jaziri H, Ferreri R, Gargano A. 2014. Reproductive traits and seasonal variability of *Merluccius merluccius* from the Tunisian coast. *Marine Biological Association of the UK* 94: 1556
- Lejeusne C, Chevaldonné P, Pergent-Martini C, Boudouresque CF, Pérez T. 2010. Climate change effects on a miniature ocean: the highly diverse, highly impacted Mediterranean Sea. 25: 250-60
- Leonart J. 2001. Impact of Fishery and Environment on Hake Recruitment in Northwestern Mediterranean. *Final Report*
- Leonart J. 2011. Los recursos pesqueros del Mediterráneo, Barcelona
- Leonart J, Maynou F. 2003. Fish stock assessments in the Mediterranean: state of the art. *Scientia Marina* 67
- Lloris D, Matallanas J, Oliver P. 2005. Hakes of the world (Family Merlucciidae). An annotated and illustrated catalogue of hake species known to date. *FAO Species Catalogue for Fishery Purpose No. 2*: 73
- Mascoli A, Candelma M, Santojanni A, Carnevali O, Colella S. 2023. Reproductive Biology of Male European Hake (*Merluccius merluccius*) in Central Mediterranean Sea: An Overview from Macroscopic to Molecular Investigation. *biology*: 22
- Maynou F, Leonart J, Cartes JE. 2003. Seasonal and spatial variability of hake (*Merluccius merluccius* L.) recruitment in the NW Mediterranean. *Fisheries Research* 60: 78
- Mellon-Duval C, De Pontual H, Métral L, Quemener L. 2010. Growth of European hake (*Merluccius merluccius*) in the Gulf of Lions based on conventional tagging. *Marine Science* 67: 70
- Morales-Nin B, Pérez-Mayol S, MacKenzie K, Catalán I, Palmer M, et al. 2022. European hake (*Merluccius merluccius*) stock structure in the Mediterranean as assessed by otolith shape and microchemistry. *Fisheries Research* 254: 10
- Ragonese S, Andreoli MG, Bono G, Giusto GB, Rizzo P, Sinacori G. 2004. Overview of the available biological information on demersal resources of the Strait of Sicily. *MedSudMed Technol. Doc* 2: 67-74

- Rebollo Puig M, López Benítez M, Falcón y Tella R. 1996. *Naturaleza y Régimen Jurídico de las Cofradías de Pescadores*.
- Recasens L. 1992. *Dinàmica de poblacions i pesqueria del lluç (Merluccius merluccius) al Golf de Lleó i la Mar Catalana*, Barcelona
- Recasens L. 2017. Transferència de coneixements sobre l'estat biològic del lluç en els caladors del Port de Roses, Barcelona
- Recasens L, Chiericoni V, Belcari P. 2008. Spawning pattern and batch fecundity of the European hake (*Merluccius merluccius* (Linnaeus, 1758)) in the western Mediterranean. *Scientia Marina* 72
- Recasens L, Lombarte A, Morales-Nin B, Torres G. 1998. Spatiotemporal variation in the population structure of the European hake in the NW Mediterranean. *Fish Biology* 53: 387-401
- Reñones O, Messuti E, Morales-Nin B. 1995. Life history of the red mullet *Mullus surmuletus* from the bottom-trawl off the Island of Majorca (north-west Mediterranean). *Mar. Biol.* 123: 411-19
- Sánchez P, Demestre M, Martín P. 2004. Characterisation of the discards generated by bottom trawling in the northwestern Mediterranean. *Fisheries Research* 67: 71-80
- Sánchez P, Martín P. 1985. Talla de primera madurez y selectividad en algunas especies demersales de interés comercial del litoral catalán. *Informes Técnicos* 100: 19-27
- Sinopoli M, Pipitone C, Badalamenti F, D'Anna G, Fiorentino F, et al. 2022. Effects of a trawling ban on the growth of young-of-the-year European hake, *Merluccius merluccius* in a Mediterranean fishing exclusion zone. *Regional Studies in Marine Science* 50: 8
- Sion L, Zupa W, Calculli C, Garofalo G, Hidalgo M, et al. 2019. Spatial distribution pattern of European hake, *Merluccius merluccius* (Pisces: Merlucciidae), in the Mediterranean Sea. *Scientia Marina* 83: 32
- Sylvia G. 1995. Global markets and products of hake. In *Hake*, ed. J Alheit, TJ Pitcher. Dordrecht: Springer, pp. 415-16
- Trump D. 1980. The prehistory of the Mediterranean.
- UB, Generalitat de Catalunya Departament d'Agricultura R, Pesca i Alimentació. 2023. Arts de pesca. ed. Elp fantasma.

Annex



Figura A1. **A)** Categories comercials de lluç capturades a bord de l'embarcació Nova Gasela amb port base a Palamós. **B)** Individus de lluç guardats en caixes i conservats en gel pel seu posterior transport al ICM.

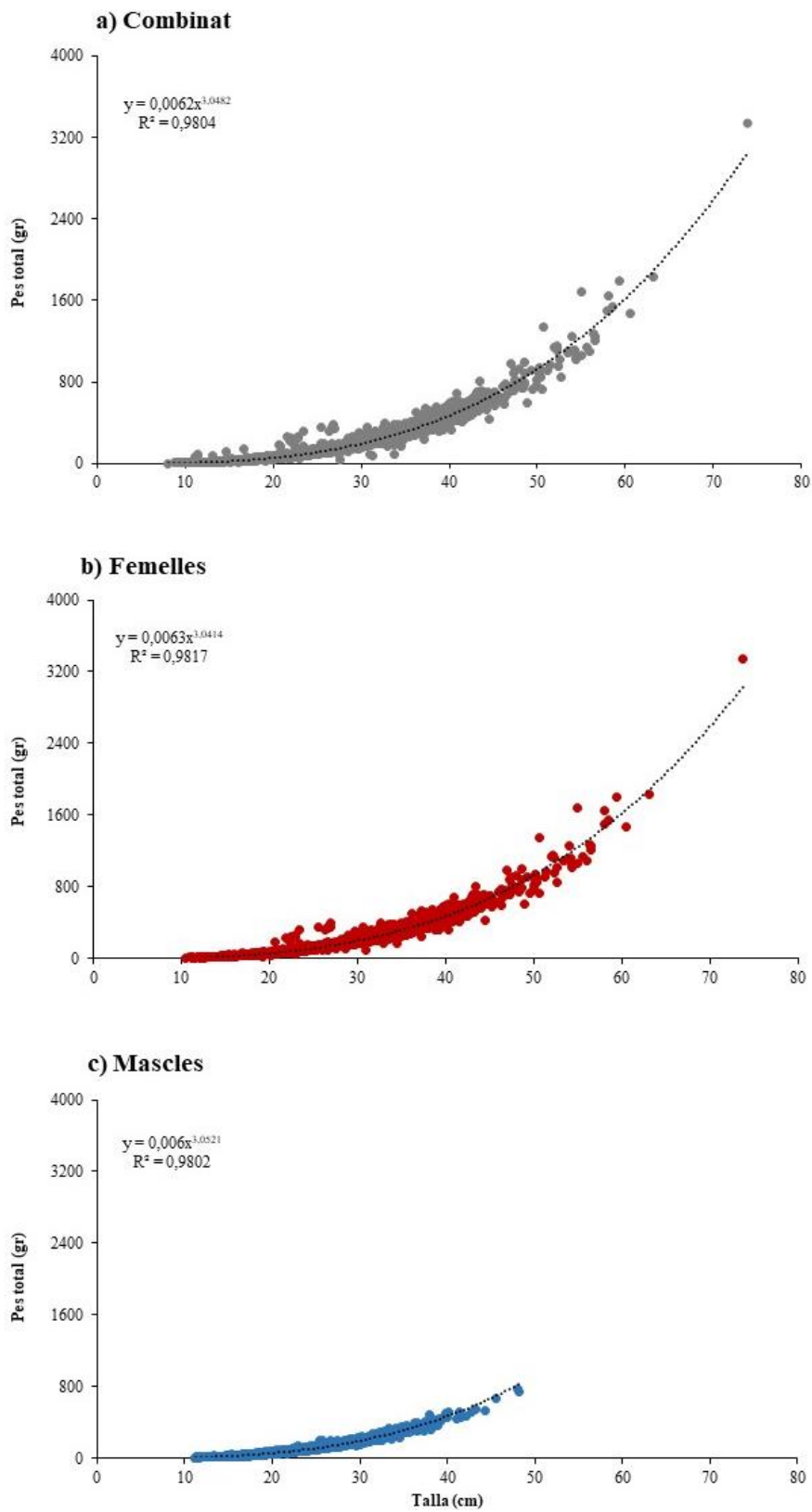


Figura A2. Relació talla-pes total per sexes combinats (gris), per femelles (vermell) i per mascles (blau). S'indiquen els paràmetres de creixement a i b a través de l'expressió $y=ax^b$ i el coeficient de determinació (R^2).

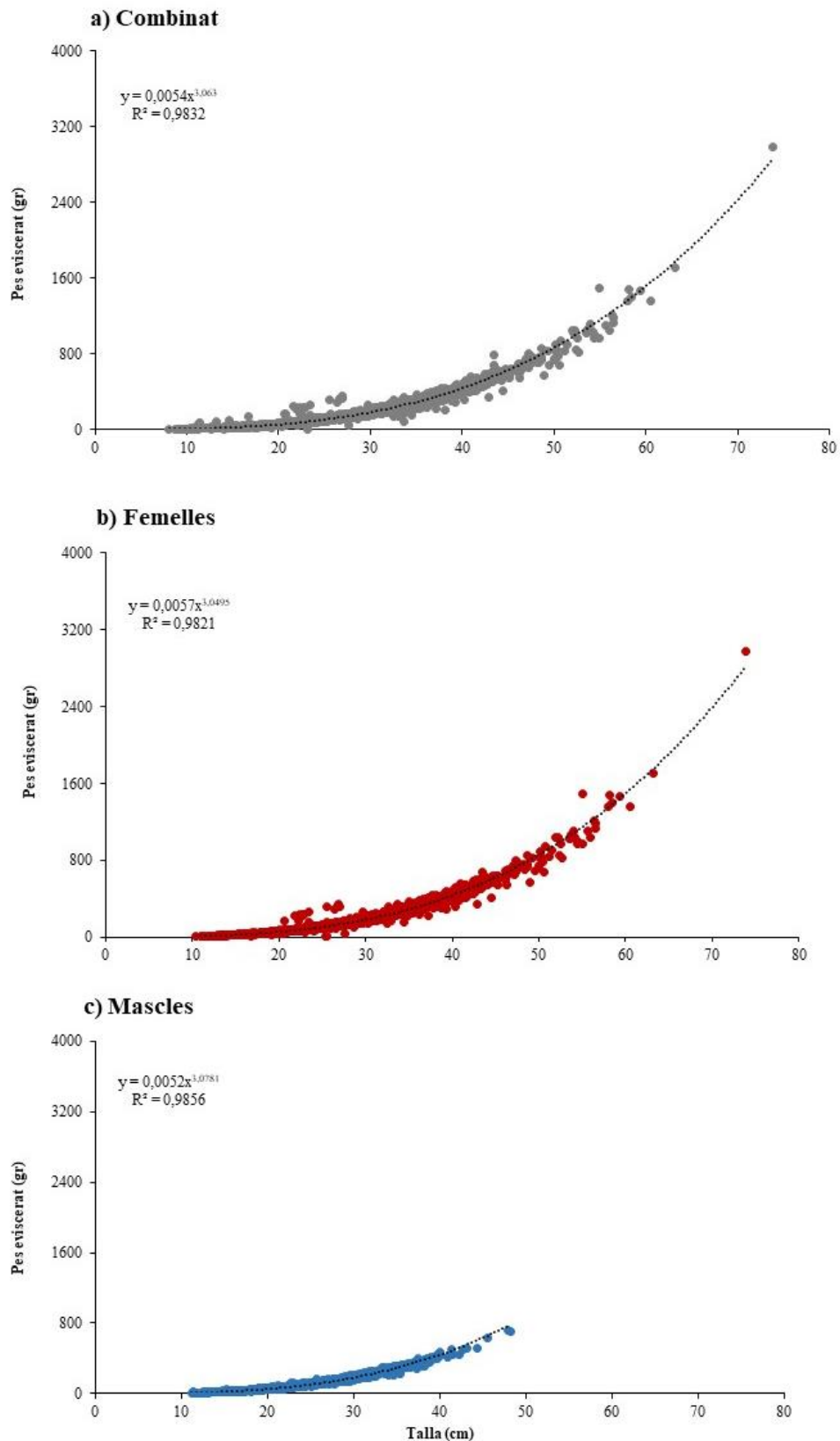


Figura A3. Relació talla-pes eviscerat per sexes combinats (gris), per femelles (vermell) i per mascles (blau). S'indiquen els paràmetres de creixement a i b a través de l'expressió $y=ax^b$ i el coeficient de determinació (R^2).