



Resum

L'aigua és un recurs essencial per a la vida en el planeta Terra, el qual està representat en un 97% en forma d'aigua salada en els mars i oceans. D'entre les seves múltiples propietats, en destaca la gran diversitat de serveis ecosistèmics que ofereix. En l'àmbit marí, una de les seves principals qualitats és que representa una font d'aprovisionament de recursos alimentaris, de la qual l'ésser humà es beneficia mitjançant activitats com la pesca comercial. No obstant això, el gran impacte que està tenint aquesta activitat sobre els ecosistemes i recursos aquàtics en les darreres dècades, causant una evident regressió de les seves poblacions biològiques i una degradació del seus hàbitats, ha provocat que sigui necessària la creació i implementació de mesures de regulació i gestió pesquera per tal de mantenir i preservar el bon estat de salut dels ecosistemes marins, de les seves poblacions i de la seva biodiversitat. Per tal de poder fer una gestió eficient i sostenible en matèria de pesca per part de les administracions públiques, és imprescindible que els esforços vagin destinats al fet que la comunitat científica pugui elaborar estudis de seguiment i recerca marina que contribueixin a millorar el coneixement sobre l'estat de les pesqueries. Una de les eines més utilitzades en recerca marina a l'hora d'analitzar l'estat dels recursos pesquers es l'aplicació de models d'avaluació dels estocs pesquers, ja que permeten obtenir paràmetres essencials sobre l'estructura i l'estat de les poblacions que poden servir com a referència a l'hora de proporcionar assessorament científic en matèria de regulació i gestió pesquera.

Ponència

L'aigua és un dels compostos més abundants i preuats del planeta Terra, el qual representa més d'un 70% de la superfície del planeta (Hossain, 2015; Kiliç, 2020). A més, és un recurs que té la capacitat, de manera natural i constant, d'autoregular-se mitjançant una sèrie de processos físics ambientals (com són l'evaporació, la condensació, la precipitació, la infiltració, l'acumulació, la escorrentia superficial o el flux subterrani) que garanteixen la seva renovació, evolució i constant disponibilitat (Cui et al., 2018).

Marc Farré i Foix

Doctor en Biologia per la Universitat de Barcelona, investigador al Centre Oceanogràfic de les Illes Balears, Instituto Español de Oceanografía del Consejo Superior de Investigaciones Científicas



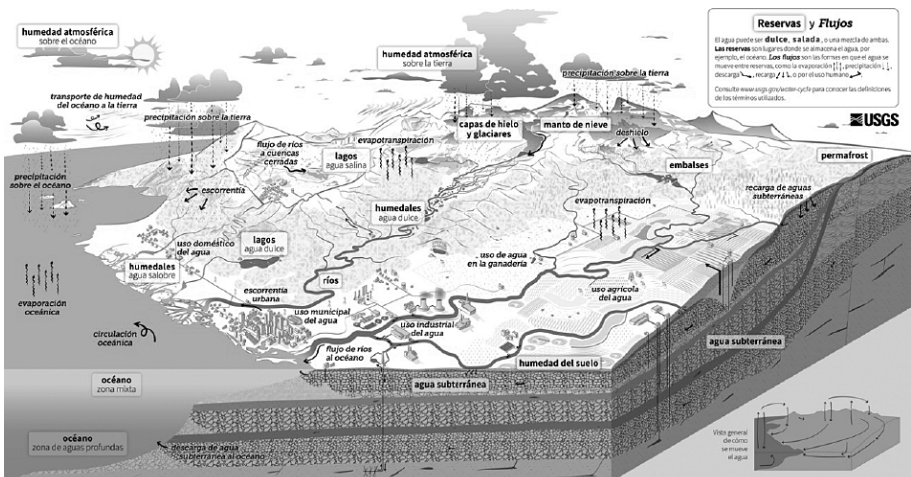
Marc Farré i Foix

El paper de la recerca marina en l'assessorament i la gestió de les pesqueries del Mediterrani

Aquest conjunt de processos i fenòmens es coneix com a **cicle de l'aigua** (figura 1).

El paper de l'aigua és essencial des de molts punts de vista, en primer lloc per al desenvolupament i manteniment de la vida, però també per a la caracterització i definició de paisatge, ambient i meteorologia del planeta, així com per a l'ús que l'ésser humà en fa per tal de satisfer les seves necessitats i cobrir els serveis ecosistèmics que demanda (Owens, 2001). Aquest ús antropogènic de l'aigua afecta de manera decisiva el seu cicle i dinàmica, com també a la seva qualitat i quantitat disponible, i els hàbitats, biota i comunitats biològiques que hi habiten. Dins els diferents usos que l'ésser humà fa de l'aigua s'hi inclouen tant els 1) usos domèstics i públics necessaris per garantir el manteniment i el benestar de la societat com els 2) usos directament relacionats amb activitats econòmiques, com per exemple els usos comercials, en indústria (generació de fonts d'energies o manteniment de plantes generadores), en activitats tant del sector primari (agricultura, ramaderia, mineria o pesca) com del sector terciari (producció de productes, alimentació, purificació de l'aigua o ús relacionat amb el sector turístic). També s'hi poden incloure usos de caràcter tradicional, cultural, recreatiu i simbòlic (Grizzetti et al., 2016).

Figura 1. Representació gràfica dels estats, reservoris i processos que defineixen el cicle de l'aigua. Adaptat de <https://water.usgs.gov/edu/watercycle.htm>



L'aigua dolça terrestre (*freshwater*) és el recurs natural més essencial del planeta, ja que garanteix gairebé totes les activitats humanes bàsiques que permeten un desenvolupament sostenible de les societats, com ara l'accés a la beguda i al sanejament de manera segura i viable. També és clau en altres activitats humanes de caràcter econòmic, com ara activitats relacionades amb la indústria, l'alimentació o el sector turístic esmentades anteriorment (Douville et al., 2021). Les capes de gel, glaceres i la neu acumulada representen fins a un 96% de tota l'aigua dolça del planeta, mentre que només el 4% es considera aigua dolça fàcilment accessible i disponible per al funcionament sostenible dels ecosistemes i per a l'abastiment de les necessitats de les societats humanes; aquesta fracció està continguda principalment en rius, llacs aiguamolls, sòls i aigües subterrànies (Abbott et al., 2019). No obstant això, l'aigua terrestre només representa un 2% de l'aigua de tot el planeta, mentre que gairebé el 97% és aigua salada provinent dels mars i oceans, que evidentment també té un impacte i uns efectes evidents i significatius en tots els ecosistemes i ambients del planeta, com també en l'ús antropogènic. Per aquest motiu, l'estudi dels dominis marins i oceànics és clau i necessari per entendre la dinàmica, l'evolució i la importància de l'aigua en el nostre planeta, així com de les oportunitats que pot oferir en els seus ecosistemes.

Dins l'àmpli ventall de serveis que ofereixen els ecosistemes marins, un dels que tenen més impacte econòmic, cultural i ecosistèmic és el servei de producció o aprovisionament, és a dir, el de subministrament de recursos, entre els quals hi ha els alimentaris (figura 2). I el principal actor relacionat amb aquest servei, juntament amb la indústria relacionada amb l'aqüicultura, és el sector de la pesca (Barbier, 2017; Beaumont et al., 2007; Muntadas et al., 2015). La pesca és una de les activitats antropogèniques vinculades a l'aigua salada més importants tant des del punt de vista econòmic com de la funció que té, però també és reconeguda com una de les principals fonts de pertorbació i impacte que han alterat històricament i crònicament els ecosistemes marins. De fet, diversos estudis demostren que les captures pesqueres estan disminuint constantment a escala mundial en les darreres dècades (Pontecorvo and Schrank, 2014; Pauly and Zeller, 2016), fet que demostra que és necessari crear i implementar estratègies i plans de gestió i regulació d'aquesta activitat per tal de garantir que es pugui continuar mantenint la prestació dels serveis ecosistèmics que ofereix el mar.

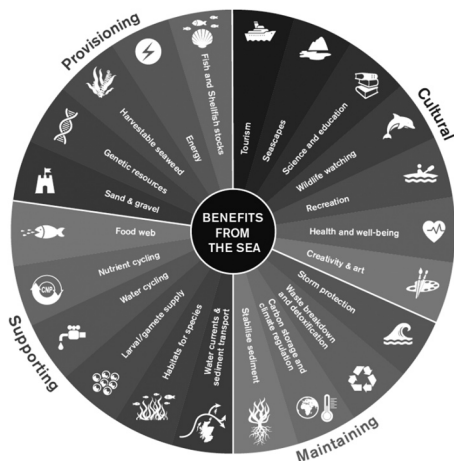
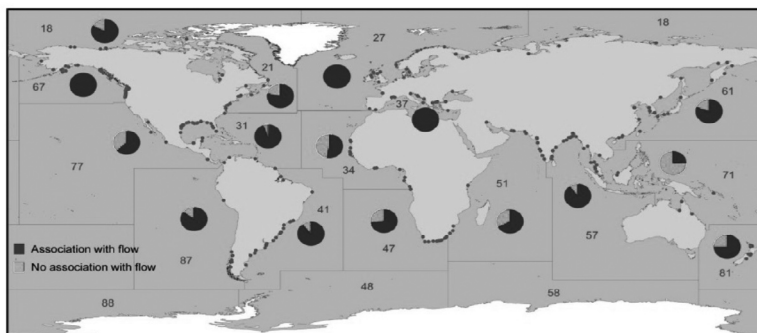


Figura 2. Representació gràfica dels serveis ecosistèmics que ofereixen els ecosistemes marins. Adaptat de <https://water.usgs.gov/edu/watercycle.htm>

Figura 3. Mapa mundial on es representa, en els gràfics circulars i per a les principals zones pesqueres d'arreu del món, el percentatge de captures de les deu espècies més capturades de cada zona que estan relacionades amb l'aigua dolça (en blau) i les que no n'estan (en vermell). Adaptat de Broadley et al., 2022



Tot i que la pesca se sol vincular directament als ecosistemes marins, i per tant a l'aigua salada, també té una forta relació amb l'aigua dolça continental. Està demostrat que els fluxos d'aigua dolça i sediments que aporten els rius i estuaris a les regions costaneres del mar contribueixen a la modificació i a la recirculació dels nutrients en l'àmbit costaner, fet que estimula la productivitat marina (Milliman and Farnsworth, 2013). Aquests processos poden afectar l'abundància i distribució de la majoria d'espècies marines, ja sigui de manera directa, mitjançant variacions en la temperatura o salinitat, o indirecta, mitjançant canvis en la disponibilitat d'aliments o d'hàbitats. De fet, estudis

demostran que fins a un 72% de les espècies capturades per les pesqueries arreu del món (i representant un 77% del volum total de captures mundial) estan directament relacionades amb els cabals d'aigua dolça proporcionats pels rius o estuaris en almenys alguna de les seves fases vitals (Broadley et al., 2022). De fet, al mar Mediterrani, les deu espècies més capturades per la flota pesquera tenen totes una relació directa amb el subministrament d'aigua dolça per part dels rius (figura 3).

En l'àmbit del mar Mediterrani, la Unió Europea (UE) és l'organització responsable de legislar i regular les polítiques i mesures de gestió pesqueres a escala regional. Per tal de dur a terme les tasques en aquest aspecte, una de les mesures

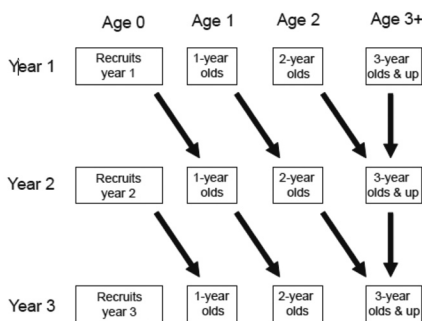
Existeixen diferents tipus de models d'avaluació d'estocs pesquers, depenent del punt de vista amb què es vulguin analitzar (monoespecífics,

El diagrama ilustra la interacción entre el sector científico y el sector empresarial. En la parte superior izquierda, un icono de un ordenador y un documento representa el 'Sector científico'. En la parte superior derecha, un icono de tres peces representa el 'Sector empresarial'. Entre ellos, una flecha horizontal bidireccional está etiquetada como 'Investigación-pesquera DCRF'. Debajo del sector científico, hay tres bloques rectangulares: 'Ecientífica' (con un icono de un libro), 'Administració' (con un icono de un ordenador y un documento) y 'Sector pesquer' (con un icono de un barco). Debajo del sector empresarial, hay dos bloques rectangulares: 'Recursos pesquers' (con un icono de un pez) y 'Consumidors' (con un icono de un grupo de personas). Las flechas indican las siguientes relaciones: una flecha vertical descendente de 'Ecientífica' a 'Administració' etiquetada 'Actualització de dades'; una flecha vertical ascendente de 'Administració' a 'Sector pesquer'; una flecha horizontal de 'Administració' a 'Ecientífica' etiquetada 'NORMATIVA'; una flecha horizontal de 'Recursos pesquers' a 'Consumidors'; una flecha diagonal descendente de 'Recursos pesquers' a 'Sector pesquer'; una flecha diagonal ascendente de 'Sector pesquer' a 'Administració'; una flecha horizontal de 'Consumidors' a 'Recursos pesquers'; y una gran flecha curva que rodea el lado izquierdo de los bloques de 'Ecientífica' y 'Administració', etiquetada 'DCRF'.

multiespecífics o ecosistèmics, socioeconòmics, de projeccions i simulacions, etc.; Smith and Addison, 2003). Els més utilitzats a l'hora d'avaluar l'estat dels recursos marins més importants en l'àmbit pesquer solen ser els monoespecífics, ja que s'enfoquen a avaluar en profunditat l'estat d'un estoc particular en una zona determinada (per exemple, la gamba vermella a les Illes Balears). Dins d'aquests tipus de models, n'existeixen de diferents tipus en funció del tipus i riquesa de dades que es tinguin. Els models que permeten una avaluació més completa són els que disposen de sèries de dades llargues i que tenen informació sobre l'estructura demogràfica poblacional de les espècies (distribucions de talles dels individus), així com informació biològica de les espècies (per exemple, per conèixer les seves èpoques de reproducció, el percentatge de mascles i femelles en la població, el percentatge d'individus en estat de maduració sexual o l'edat dels individus). El DCRF que implementa l'IEO en el Mediterrani espanyol permet la recopilació de tots aquests tipus de dades, de manera que es poden aplicar aquests tipus de models per fer les avaluacions. Com a dades d'entrada per a aquest tipus de models, es necessiten principalment dos tipus de dades. En primer lloc, dades dependents de la flota comercial, que s'obtenen mitjançant el programa de seguiment DCRF, que executa l'IEO gràcies a mostrejos a bord en les barques comercials, a mostrejos en les llotges de venda i a mostrejos biològics fets en el laboratori. Aquestes dades són de gran importància i qualitat per als models, ja que permeten tenir una imatge completa del comportament de les poblacions de manera regular i al llarg de tot l'any. No obstant això, tenen l'inconvenient que són dependents del comportament de la flota comercial, és a dir, no permeten focalitzar el seguiment en un estoc concret, ja que es depèn dels objectius que tingui la flota comercial. Per tal de compensar aquest factor, els models necessiten incorporar un segon tipus de dades que siguin independents de la flota comercial. Aquestes dades s'obtenen mitjançant la realització de campanyes oceanogràfiques amb vaixells especialitzats, que permeten obtenir dades focalitzant l'esforç en els estocs objectiu i mitjançant l'aplicació de protocols estandarditzats. Aquestes dades també són de gran importància, però tenen l'inconvenient que només s'obtenen en moments concrets de l'any donant una imatge puntual de l'estat dels estocs (no

tenen la cobertura del seguiment anual de la flota pesquera), així que s'utilitzen només per calibrar i balancejar els models. Per aquest motiu, és necessària la combinació dels dos tipus de dades per fer una correcta avaluació d'un determinat estoc.

Considerant el conjunt de dades que permet recopilar el DCFR, el tipus de models d'avaluació més complexos i complets que es poden utilitzar són els models estructurats per talles o edats. La majoria de models d'assessorament pesquer parteixen de la premissa bàsica que l'evolució d'un estoc o població determinada d'un any a l'any següent (en termes de volum o biomassa) depèn del balanç entre les variables d'entrada (és a dir, el nombre d'individus que neixen aquell any i que per tant s'incorporen a l'estoc, fracció anomenada *reclutament*, i també del creixement dels individus que ja pertanyien a l'estoc) i les variables de sortida (els individus que abandonen l'estoc per mortalitat natural o per la mortalitat provocada per la pesca). Els models estructurats per talles o edats utilitzen sèries de dades llargues de captures (abundància i biomassa) caracteritzant l'estructura demogràfica de les poblacions per edats per cada any. D'aquesta manera, per a cada any i mitjançant l'aplicació de models matemàtics, a partir de les dades totals de captures poden calcular el nombre d'individus pertanyents al reclutament (edat 0) i el nombre d'individus d'edat 1 o superior, i que per tant ja formen part de la fracció adulta o reproductora (coneguda com Spawning Biomass, SB). I a mesura que s'incorporen dades d'anys nous, parteixen de la base que els individus d'edat 0 d'un any determinat esdevenen individus d'edat 1 l'any següent, i així successivament per al total d'edats de l'espècie (figura 5).



Bibliografia

- ABBOTT, B. W., BISHOP, K., ZARNETSKY, J. P., MINAUDO, C., CHAPIN III, F. S., KRAUSE, S., HANNAH D.M., CONNER L., ELLISON D., GODSEY S.E., PLONT S., MARÇAIS J., KOLBE T., HUEBNER A., FREI R.J., HAMPTON T., GU S., BUHMAN M., SAYEDI S.S., URSACHE O., CHAPIN M., HENDERSON K.D., & PINAY, G.(2019). Human domination of the global water cycle absent from depictions and perceptions. *Nature Geoscience*, 12(7): 533-540.
- BARBIER E. B. (2017). Marine ecosystem services. *Current Biology*, 27(11): R507-R510.
- BEAUMONT N.J., AUSTEN M.C., ATKINS J.P., BURDON D., DEGRAER S., DENTINHO T.P., DEROU S., HOLM P., HORTON T., VAN IERLAND E., MARBOE A.H., STARKEY D.J., TOWNSEND M., & ZARZYCKI T. (2007). Identification, definition and quantification of goods and services provided by marine biodiversity: implications for the ecosystem approach. *Marine Pollution Bulletin*, 54(3): 253-65.
- BROADLEY A., STEWART-KOSTER B., BURFORD M.A., & BROWN C.J. (2022). A global review of the critical link between river flows and productivity in marine fisheries. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 32(3): 805-825.
- CUI Y., CHEN X., GAO J., YAN B., TANG G., & HONG Y. (2018). Global water cycle and remote sensing big data: overview, challenge, and opportunities. *Big Earth Data*, 2(3), 282-297.

Figura 5. Esquema explicatiu del funcionament i premisses bàsiques de les quals parteixen els models d'avaluació d'estocs pesquers estructurats per talles o edats

DOUVILLE H., RAGHAVAN K., RENWICK J., ALLAN R.P., ARIAS P.A., BARLOW M., CEREZO-MOTA R., CHERCHI A., GAN T.Y., GERGIS J., JIANG D., KHAN A., POKAM MBA W., ROSENFELD D., TIERNEY J., & ZOLINA O., (2021). Water Cycle Changes. In Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1055-1210. GFCM, 2018. GFCM Data Collection Reference Framework (DRCF). Version 20.1.

A més, a part del càlcul dels valors demogràfics de la població (reclutament i SB), també permeten el càlcul, considerant els valors de les captures i l'evolució d'aquestes últimes al llarg de la sèrie temporal, dels valors de la mortalitat provocada per la pesca (F), que representa l'índex de mortalitat dins la població provocat per la pesca. El reclutament, l'SB i la mortalitat per pesca (F) són els principals resultats de sortida que proporcionen els models, i l'anàlisi i interpretació d'aquestes variables són les permeten extreure conclusions sobre l'estat dels estocs, i d'aquesta manera poder proporcionar assessorament científic. En la figura 6 es mostren els resultats obtinguts per les avaluacions fetes els anys 2022 i 2023 per als estocs de lluç (*Merluccius merluccius*) i de la gamba blanca (*Parapenaeus longirostris*), dos de les espècies comercials

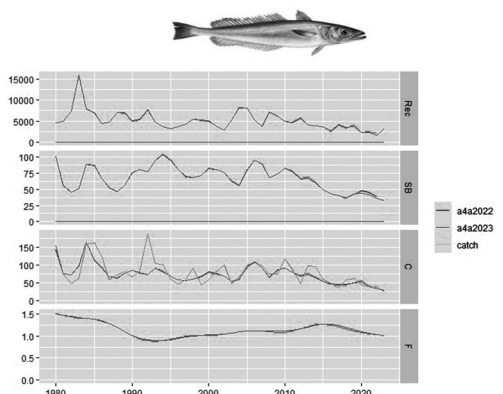
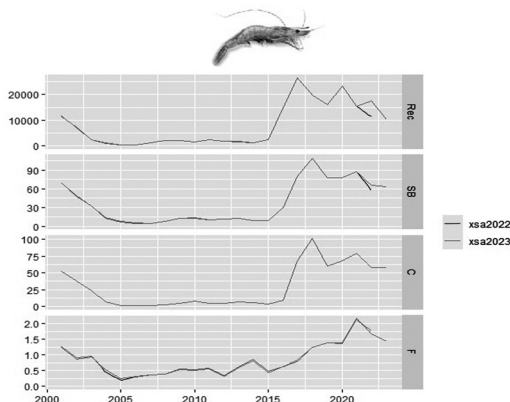


Figura 6. Comparació dels resultats de les avaluacions dels estocs del lluç (*Merluccius merluccius*, esquerra) i de la gamba blanca (*Parapenaeus longirostris*, dreta) de les Illes Balears fetes al 2022 (en vermell) i al 2023 (en verd per al lluç i blau per a la gamba), en què es poden observar els valors del reclutament (Rec), la biomassa reproductora (SB), les captures (C) i la mortalitat per pesca (F). Per al lluç, la sèrie de dades va des del 1980 fins al 2023, mentre que per a la gamba blanca les dades són des del 2001 fins al 2023



econòmicament més importants del Mediterrani espanyol, a les Illes Balears.

En la ciència relacionada amb l'avaluació d'estocs pesquers, l'assessorament científic s'acostuma a proporcionar mitjançant la definició del que es coneix com a *punts de referència*, que són valors estimats a partir de models estadístics d'avaluació d'estocs que permeten determinar l'estat de salut en què es troba una població o estoc concret, i que per tant s'utilitzen com a guia en la gestió i assessorament pesquer. Aquests valors poden estar basats en dos de les variables comunament calculades per als models d'avaluació d'estocs: en valors de biomassa de les captures o en valors de mortalitat per pesca. D'aquesta manera, els models, amb tot el conjunt de dades temporals que utilitzen, són capaços de calcular 1) uns punts de referència objectiu, que serien els valors que defineixen l'estat desitjable o ideal del recurs, com també 2) punts de referència límit, que defineixen els llindars a partir dels quals es considera que el recurs està en perill i que per tant requereix una acció immediata per a la seva recuperació. Per tant, un cop s'obtenen els resultats del model per al darrer any analitzat, la comparació entre els valors obtinguts pel model per al darrer any i els valors dels punts de referència és el quocient que permet proporcionar assessorament científic (figura 7).

En el cas de punts de referència basats en biomassa:

- Si el valor de la biomassa del darrer any o actual (B_c) és superior al valor de biomassa referència objectiu ($B_{0.1}$) = no hi ha senyal de sobreexplotació de l'estoc, i per tant es pot considerar que es troba en situació d'explotació sostenible.
- Si el valor de la biomassa del darrer any o actual (B_c) es troba entre el valor de biomassa referència objectiu ($B_{0.1}$) i el valor de biomassa referència límit (B_{lim}) = es considera que la biomassa de l'estoc està en nivells baixos i vulnerables.
- Si el valor de la biomassa del darrer any o actual (B_c) és inferior al valor de biomassa referència límit (B_{lim}) = situació de col·lapse de l'estoc, que requereix mesures immediates per tal de recuperar el recurs.

En el cas de punts de referència basats en la mortalitat per pesca:

- Si el valor de la mortalitat del darrer any o actual (F_c) és inferior al valor de mortalitat referència objectiu ($F_{0.1}$) = l'estoc es troba en situació d'explotació sostenible.
- Si el valor de la mortalitat del darrer any o actual (F_c) es troba entre el valor de mortalitat referència objectiu ($F_{0.1}$) i el valor

- GRIZZETTI B., LANZANOVA D., LIQUETE C., REYNAUD A., & CARDOSO A. C. (2016). Assessing water ecosystem services for water resource management. *Environmental Science & Policy*, 61: 194-203.
- HOSSAIN M. Z. (2015). Water: The most precious resource of our life. *Global Journal of Advanced Research*, 2(9): 1-11.
- KILIÇ Z. (2020). The importance of water and conscious use of water. *International Journal of Hydrology*, 4(5): 239-241.
- MILLIMAN J.D., & FARNSWORTH K.L. (2013). River discharge to the coastal ocean: a global synthesis. Cambridge University Press, UK. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511781247>.
- MUNTADAS A., DE JUAN S., & DEMESTRE M. (2015). Integrating the provision of ecosystem services and trawl fisheries for the management of the marine environment. *Science of the Total Environment*, 506: 594-603.
- OWENS J.W. (2001). Water resources in life-cycle impact assessment: considerations in choosing category indicators. *Journal of Industrial Ecology*, 5(2): 37-54.
- PAULY D., & ZELLER D. (2016). Catch reconstructions reveal that global marine fisheries catches are higher than reported and declining. *Nature Communications* 7: 10244.
- PONTECORVO G., & SCHRANK W.E. (2014). The continued decline in the world catch of marine fish. *Marine Policy*, 44: 117-119.
- Reglamento (UE) 2017/1004 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 17 de mayo de 2017, relativo al establecimiento de un marco de la Unión para la recopilación, gestión y uso de los datos del sector pesquero y el apoyo al asesoramiento científico en relación con la política pesquera común y por el que se deroga el Reglamento (CE) n° 199/2008 del Consejo.
- SMITH M.T., & ADDISON J.T. (2003). Methods for stock assessment of crustacean fisheries. *Fisheries research*, 65(1-3): 231-256.

de mortalitat referència límit (F_{lim}) = l'estoc es troba en situació de sobreexplotació.

- Si el valor de la mortalitat del darrer any o actual (F_c) és superior al valor de mortalitat referència límit (F_{lim}) = l'estoc es troba en situació de sobreexplotació severa, que requereix acció immediata per tal de revertir la situació.

Figura 7. Gràfics explicatius de l'evolució fictícia dels punts de referència basats en valors de biomassa (a dalt) o basats en valors de mortalitat per pesca (a baix) i el seu significat a l'hora de proporcionar assessorament científic sobre l'estat de salut d'estocs pesquers. B_c i F_c (línies lila) són els valors de biomassa i mortalitat actuals, $B_{0.1}$ i $F_{0.1}$ (línies discontinues verdes) són els punts de referència objectiu i B_{lim} i F_{lim} (línies discontinues vermelles) són els punts de referència límit

