

REPTES PER A LA RECOLLECCIÓ I LA PRODUCCIÓ D'ALIMENTS D'ORIGEN AQUÀTIC EN UN MÓN CADA COP MÉS POBLAT

CHALLENGES IN COLLECTING AND PRODUCING FOODS OF AQUATIC ORIGIN IN AN INCREASINGLY POPULATED WORLD

FRANCESC PIFERRER

Institut de Ciències del Mar (Consell Superior d'Investigacions Científiques)

UXÍO LABARTA

Institut d'Investigacions Marines (Consell Superior d'Investigacions Científiques)

RESUM

Segons l'Organització de les Nacions Unides (ONU), la població humana augmentarà fins als 9.800 milions el 2050. L'Organització de les Nacions Unides per a l'Agricultura i l'Alimentació (FAO) calcula que aquest increment comportarà un creixement a l'entorn d'un 60 % en la demanda d'aliments. Si deixem a banda l'agricultura i la ramaderia, que afronten reptes d'utilització del sòl i de competència pels recursos hídrics, les mirades es giren cap al mar. Les captures mundials totals de pesca, però, estan estancades al voltant dels 90 milions de tones, amb molts dels estocs sobreexplotats. D'altra banda, la producció de l'aqüicultura, no comptant-hi les algues, arribà gairebé als 74 milions de tones el 2014, si bé bona part de la producció correspon a espècies d'aigua dolça, una producció que a mitjà o a llarg termini afronta els mateixos problemes que l'agricultura i la ramaderia. Per tant, algunes de les solucions que actualment es prenen en consideració inclouen unes pesqueres amb una gestió sostenible, la disminució del rebuig, la pesca de noves espècies i un aprofitament més alt d'espècies no destinades actualment al consum humà. La verdadera revolució tindrà lloc, però, quan l'aqüicultura sigui majoritàriament marina i pugui tancar el seu cicle de producció depenent només de la producció marina. Algunes possibilitats inclouen el cultiu de macroalgues i microalgues, mol·luscs i altres animals filtradors, a banda d'una reducció del nivell tròfic dels peixos de cultiu i un millor rendiment en el creixement i la reproducció. Aquests reptes no estan exempts de riscos, no només de caire tècnic, sinó també ambientals, fonamentalment deguts al canvi climàtic i a la pol·lució, així com de viabilitat econòmica i d'acceptació social.

ABSTRACT

According to the UN, the human population will increase to 9,800 million by 2050. FAO estimates that this increase will lead to a growth of ~60% in food demand. If we leave aside agriculture and livestock, which face challenges of land use and competition for water resources, our hopes are directed towards the sea. Global fish catches, however, remain at a standstill of about 90 million tons, with many of the stocks being overexploited. On the other hand, the production of aquaculture excluding algae reached almost 74 million tons in 2014, although much of the production corresponds to freshwater species, a production that in the medium to long term faces the same problems as agriculture and livestock. Therefore, some of the solutions that are currently considered include sustainable management of fisheries, reduction of discards, fishing for new species and greater use of species not currently destined for human consumption. The real revolution will take place, however, when aquaculture is mostly marine and able to close its production cycle depending only on marine production. Some possibilities include the cultivation of macro- and microalgae, molluscs and other filtering animals, as well as a reduction in the trophic level of the farmed fish and a better yield in growth and reproduction. These challenges are not free from technical and environmental risks, mainly due to climate change and pollution, or from risks related to economic viability and social acceptance.

INTRODUCCIÓ

L'augment de la població humana, el desenvolupament econòmic i els canvis d'hàbits de consum impliquen un augment important en la demanda d'aliments per satisfer les necessitats d'aquesta creixent població. Hom pot argumentar que els aliments produïts actualment són suficients per alimentar tota la població hu-

mana, i és ben cert. Malauradament, aspectes econòmics, com ara el cost de producció, processament, transport i comercialització, fan que molt del menjar produït no arribi mai al consumidor. Aquest és un problema econòmic i social de què aquí no es tracta perquè això implicaria fer replantejaments relatius al sistema econòmic que estan fora de l'abast d'aquest capítol, orientat exclusivament a l'obtenció i la producció

de recursos. Aquí, doncs, des del punt de vista dels recursos naturals destinats a l'alimentació de la nostra espècie, ens limitarem a exposar la situació actual pel que fa als aliments d'origen aquàtic, ja siguin obtinguts a les aigües continentals com al medi marí. En aquest sentit, cal recordar, malgrat que sembli obvi, que l'obtenció d'aliments per satisfer les nostres necessitats es pot dur a terme de dues formes principals: la recollida i la producció. La recollida d'espècies vegetals s'anomena *collita*, mentre que la d'espècies animals s'anomena *caça*, si es du a terme al medi terrestre, o *pesca*, si es du a terme al medi aquàtic. Per altra banda, tenim l'agricultura per a la producció d'espècies vegetals, i la ramaderia i l'aqüicultura per a la producció d'espècies animals, terrestres i marines, respectivament, tot i que en els darrers anys ha augmentat molt el cultiu d'algues, com es veurà més endavant.

La figura 1 mostra els fluxos de la producció terrestre i aquàtica per a l'abastiment del consum humà. Al medi terrestre, l'agricultura i la ramaderia competeixen pels recursos hídrics. Al mar, hi ha una important fracció de les captures que no s'aprofita o que només s'aprofita parcialment, l'anomenat *rebuig*. L'aqüicultura, tant terrestre com marítima (maricultura), depèn en part de les captures i en part de l'agricultura. Aquests i d'altres aspectes es discuteixen a continuació.

LA POBLACIÓ AL MÓN I LA PREVISIÓ D'EVOLUCIÓ

Els reptes per a la producció d'aliments s'emmarquen necessàriament en un context de creixement incessant de la població humana, que es va accelerar a partir del

segle xx i, particularment, des de la seva segona meitat. Així, a finals de l'any 2017, la població mundial era d'uns 7.600 milions, segons les dades recollides per la Divisió de Població de les Nacions Unides (Nacions Unides, 2017). Des d'aquesta mateixa organització, les previsions per a 2050 situen la població humana al voltant dels 9.800 milions, i per a finals de segle, al voltant dels 11.200 milions. Cal dir que hi ha diverses estimacions segons l'evolució de la fecunditat a diferents llocs del món, particularment als països subdesenvolupats i en via de desenvolupament. Tanmateix, les xifres esmentades corresponen a la millor estimació si es té en compte l'evolució d'aquesta fecunditat en els propers anys. Així doncs, respecte a la situació a finals de 2017, es preveu un creixement de la població humana, aproximadament, del 30 % per a mitjans d'aquest segle i del 50 % per a finals de segle. No cal recordar Thomas Robert Malthus (1766-1834) i el seu *Primer assaig sobre la població*, publicat el 1798, per entendre que aquest creixement implica una pressió molt forta sobre els recursos naturals disponibles. Això ha portat a fer estimacions de quantes persones caben a la Terra, preguntant que no té gaire sentit si no s'especifica amb quin nivell de consum, en quines condicions ambientals, amb quins valors, gustos i modes, i per quant de temps. Aquest tipus de preguntes s'han formulat acadèmicament i la conclusió és que 9.800 milions d'habitants ja estan dins del rang màxim del que la Terra pot suportar (Cohen, 2003). Per tant, podem dir que la població humana arribarà a finals d'aquest segle essencialment al màxim del que el nostre planeta es pot permetre.

Per altra banda, el desenvolupament econòmic porta aparellat un consum calòric més alt. Així, el 2005, el

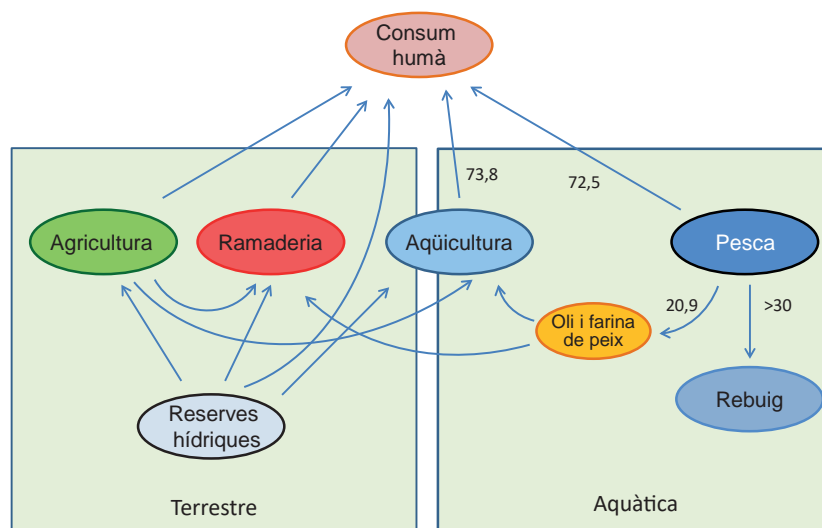


FIGURA 1. Fluxos de la producció terrestre i aquàtica per a l'abastiment del consum humà. Compareu els valors dels fluxos de la producció aquàtica, expressats en milions de tones, amb els esmentats a la taula 1 d'acord amb les dades de la FAO. Els valors de la pesca i l'aqüicultura per al consum humà inclouen la producció tant a les aigües continentals com al mar.

FONT: Elaboració pròpia.

consum de quilocalories per persona i dia fluctuava de les 2.200 a l'Àfrica subsahariana i el Sud-est asiàtic a les aproximadament 3.400 al món més desenvolupat, passant per les 2.600 dels països en via de desenvolupament, amb un valor mitjà mundial de 2.750 (FAO, 2012). Per a 2050 es preveu un increment d'aquest valor mitjà mundial fins a unes 3.100 kcal per persona i dia. Aquest desenvolupament porta també associat un consum més elevat de proteïna animal, d'uns 25 g per persona i dia el 1992 fins a més de 30 g per persona i dia el 2011, i aquesta tendència continua i es preveu que augmenti en el futur (FAO, 2015).

A aquests canvis de població i d'ingesta calòrica, cal afegir-hi també els canvis en els patrons de consum. Així, el consum de proteïna d'origen aquàtic representa aproximadament un 20 % de la proteïna animal ingerida globalment i, segons la FAO, una sisena part de la població mundial depèn de la producció aquàtica com a font principal de proteïnes, havent passat el consum de productes aquàtics dels 9,9 kg per persona i any el 1960 als 20,1 kg el 2014. Actualment, sobretot als països més desenvolupats, es fomenta el consum de peix per les seves qualitats i per promoure la salut, particularment la cardiovascular. Així, el peix té un baix contingut calòric i pocs greixos saturats; és ric en àcids grassos essencials omega-3 i en vitamines i minerals com el calci, el iode, el fòsfor i el seleni, i, a més, té bon gust i és de fàcil digestió.

En conjunt, l'augment de la població, una ingesta calòrica més elevada i els canvis de costums impliquen, segons la FAO, una estimació pel que fa a la necessitat d'aliments al món d'aproximadament un 60 % més per a l'any 2050 respecte a la situació actual. A banda d'aspectes de seguretat alimentària (producció, accés i utilització dels aliments), en aquest context, cal plantejar-se d'on han de sortir els aliments necessaris per fer front a aquesta demanda. A més, aquest augment estimat de la població humana suposa que la producció de peix necessària per satisfer la demanda del mercat i els requeriments de la dieta serà d'uns 160 milions de tones a l'any, que constitueixen el doble de les captures actuals de la pesca.

EL PROBLEMA DE L'AIGUA

Si bé l'aigua és l'element més present a la Terra, únicament un 2,5 % del total és aigua dolça, i la resta és aigua salada. Els recursos hídrics són renovables (excepte certes aigües subterrànies), amb enormes diferències de disponibilitat i àmplies variacions de la precipitació estacional i anual entre les diferents parts del món. La precipitació constitueix la principal font d'aigua per a tots els usos humans i ecosistemes. L'ésser humà extreu un 8 % del total anual d'aigua dolça renovable i s'apropia el 26 % de l'evapotranspiració

anual i el 54 % de les aigües de vessament accessibles. L'augment de la pressió sobre els recursos hídrics indica que la disponibilitat d'aigua per produir aliments serà un coll d'ampolla per al desenvolupament de la població humana al llarg del segle XXI. Si deixem a banda l'agricultura i la ramaderia, que afronten reptes d'utilització del sòl i de competència pels recursos hídrics, les mirades es giren cap al mar. Els sistemes d'aqüicultura terrestre, igual que l'agricultura, seran particularment vulnerables a l'escassetat prevista de disponibilitat d'aigua dolça en moltes regions, com a resultat de l'explotació humana i el canvi climàtic. L'única font d'alimentació que no consumeix aigua en la seva producció és la que es dona als oceans, incloent-hi des de la pesca tradicional fins a l'aqüicultura, en auge en els últims anys. L'aqüicultura marina, malgrat que no es veu directament afectada per les restriccions d'aigua dolça, encara es veurà afectada indirectament a través de la seva dependència dels pinsos basats en els cultius (Naylor *et al.*, 2009). Repassem, doncs, quin és l'estat actual de les pesqueres i l'aqüicultura.

L'ESTAT DE LES PESQUERES I L'AQUÍCULTURA I EL SEU FUTUR

Segons les darreres dades de la FAO (FAO, 2016), la situació global de les pesqueres a escala mundial l'any 2013 era la següent: un 10 % dels estocs estaven subexplotats, un 60 % estaven completament explotats i el 30 % restant estaven sobreexplotats. Això vol dir que el 2013 el 90 % dels estocs mundials estaven completament explotats o bé sobreexplotats. Encara més, malgrat l'increment de l'esforç pesquer (per exemple, en la potència dels motors de les embarcacions i en les millores en les arts de pesca i en els sistemes de localització dels bancs de peixos), les captures mundials estan estancades al voltant dels 90 milions de tones.

Abans d'entrar a comentar les dades, cal fer dos advertiments. El primer i més important és que les dades que periòdicament recopila i publica la FAO són obtingudes a través de les que les agències governamentals li proporcionen, i hi ha sospites que les dades de captura o producció d'alguns països com la Xina, que representen un pes substancial dins el total de la producció aquàtica mundial, puguin estar subrepresentades. En altres paraules, que no es reporti tot el que realment es captura per tal de no donar peu, per exemple, a sancions per sobrepassar les quotes assignades. Per altra banda, cal esmentar que, pel que fa a la producció de l'aqüicultura, la mateixa FAO a vegades inclou les algues (anomenades *aquatic plants*, o sia 'plantes aquàtiques', cosa que pot donar lloc a confusió amb les fanerògames marines), mentre que altres cops no les inclou. Com que la seva producció és igual o

inclús superior a la producció de la resta de la maricultura, hem optat aquí per distingir la producció amb i sense algues.

A la taula 1 es desglossa la producció de la pesca i l'aqüicultura per ambients principals. D'acord amb les dades de la FAO (FAO, 2016), la producció total mundial de la pesca el 2014 va ser de 93,4 milions de tones, de les quals 81,5 milions procedien d'aigües marines. Les captures mundials en aigües continentals van ser d'aproximadament 11,9 milions de tones el mateix any. Per altra banda, també el 2014, la producció d'animals procedents de l'aqüicultura va ascendir a 73,8 milions de tones. Aquest total es va compondre de 49,9 milions de tones de peixos d'escata, 16,1 milions de tones de mol·luscs, 6,9 milions de tones de crustacis i uns 0,9 milions de tones d'altres animals aquàtics. Així, la taula 1, amb dades corresponents a 2014, mostra que, mentre que el gruix de les captures són marines, per contra, el gruix de la producció per aquicultura —si no es tenen en compte les algues— és en aigües continentals. Cal també remarcar que dels 81,5 milions de tones de captures al mar, 20,9 milions corresponen a pesqueres per al processament per produir farina i oli de peix, de forma que queden 60,6 milions de tones, que sumant-hi els 11,9 milions de tones de la pesca en aigua dolça, donen un total de 72,5 milions de tones disponibles per al consum humà. Si a aquests 72,5 milions de tones, hi afegim els 73,8 milions de tones de l'aqüicultura (excloent-ne les algues), tenim un total de 146,3 milions de tones disponibles per al consum humà. Tenint en compte que el 2014 la població humana era d'uns 7.300 milions, això dona la xifra mitjana de 20,1 kg de productes aquàtics *per capita* esmentada més amunt.

En una perspectiva temporal, el percentatge de quilograms d'organismes aquàtics produïts per l'aqüicultura i destinats al consum humà era, aproximadament, del 10 % el 1960, del 50 % el 2014 i es preveu que sigui aproximadament del 60 % el 2025. Per tant, degut a l'estancament de les pesqueres i el continuat desenvolupament de l'aqüicultura, tot indica que aquesta contribuirà cada cop més a l'abastiment de les necessitats del consum humà.

En l'aqüicultura marina, la tecnologia del cultiu de peixos és més complexa que la d'altres grups d'organismes (Moksness, Kjørvisk i Olsen, 2004). En particu-

lar, la tecnologia de producció de juvenils és la que ha alentit el desenvolupament del cultiu i la raó més probable per la qual el cultiu de peixos d'aigua de mar ha crescut de forma més lenta a escala mundial. Així mateix, l'aqüicultura marina europea és diferent estructuralment de la de la resta del món. No hi ha producció de plantes marines a Europa, mentre que hi ha una producció històrica de bivalves, com els musclos i les ostones. D'altra banda, la producció europea de salmònids en aigua de mar constitueix gairebé la meitat de la producció mundial. Europa és també responsable de més del 15 % de la producció global de peixos de mar, i les espècies més importants són el llobarro i l'orada, que són produïdes principalment als països del Mediterrani.

Duarte, Marbà i Holmer (2007) analitzen les raons de l'èxit i el ràpid desenvolupament de l'aqüicultura, enfront de la domesticació i el cultiu d'espècies terrestres. Descriuen les conseqüències de la domesticació d'espècies marines en el subministrament mundial d'aliments i el seu impacte ambiental. Els autors apunten que el ritme de domesticació d'espècies marines per produir aliment és cent vegades més ràpid ara que en l'etapa en què s'ha produït amb més celeritat la domesticació d'espècies i plantes terrestres. Entre les causes del contrast entre l'èxit de la domesticació d'espècies marines i el de les terrestres, els investigadors destaquen la varietat més gran de categories d'espècies marines que han estat i poden ser domesticades. Unes tres mil espècies serveixen com a aliment obtingut del mar, mentre que unes escasses dues-centes s'utilitzen com a aliment obtingut a la terra.

El coneixement científic i la tecnologia acumulats durant el segle xx, així com la menor virulència dels patògens marins per a les persones, serien les altres dues claus de l'èxit del procés de domesticació al mar. L'aqüicultura, definida pels autors com «una revolució emergent d'importància global», també pot tenir, tal com es practica avui dia, conseqüències negatives per al medi ambient: el deteriorament dels ecosistemes litorals i l'impacte sobre les espècies salvatges que s'usen com a aliment. Els ritmes de creixement actual en l'aqüicultura i la seva capacitat per satisfer la demanda mundial d'aliments d'una població creixent depenen de l'assoliment d'un model sostenible de desenvolupament que minimitzi dependències i impactes sobre l'ecosistema.

TAULA 1. *Sumari de la producció de la pesca i l'aqüicultura per ambients principals, expressada en milions de tones i corresponent a l'any 2014 (FAO, 2016)*

Ambient	Pesca	Aqüicultura	Total
Aigua dolça	11,9	47,1	59,0
Mar	81,5	26,7 (+ 27,3 d'algues)	108,2 (135,5, amb algues)
Total	93,4	73,8 (101,1, amb algues)	167,2 (194,5, amb algues)

NOTA: Alguns d'aquests valors estan representats a la figura 1.

S'han fet diferents prediccions sobre les necessitats futures de productes marins i els rendiments de producció de l'aqüicultura (Wijkström, 2003; Rosegrant, Agcaoili-Sombilla i Pérez, 1995). Totes les prediccions suggereixen que la producció de l'aqüicultura marina continuarà augmentant durant les properes dècades.

RECOLLECCIÓ SOSTENIBLE

El concepte de *sostenibilitat* ha estat al centre de la gestió de les pesqueres des de fa més de cinquanta anys, tant en el marc biològic com en l'econòmic. En teoria, tots els punts de la corba que relaciona el rendiment de l'explotació amb l'esforç pesquer (figura 2) són sostenibles, amb l'excepció d'aquells que es corresponen amb el col·lapse del recurs. Per tant, davant d'aquesta situació, i encara sota l'objectiu de la sostenibilitat, la societat ha de triar, tenint en compte aspectes socioeconòmics, el punt de la corba que relaciona rendiment i esforç en què es vol situar l'explotació.

La ciència pesquera sempre s'ha mogut dins de moltes incerteses, derivades tant de dificultats metodològiques com de la complexitat del problema que aborda. És un problema en què coexisteixen, en paral·lel a les causes naturals de les fluctuacions de les poblacions, diverses causes de tipus antropogènica que no tenen relació amb l'activitat pesquera i que inclouen les modificacions de l'ecosistema marí costaner i oceànic amb fins de desenvolupament (turisme, petroli, urbanisme). Els processos de gestió habitualment utilitzats donen una excessiva importància a la dimensió biològica de la sostenibilitat, i per això s'ha suggerit que, per avançar, cal prestar més atenció a altres criteris de sostenibilitat, com els econòmics o els ambientals (Maguire, 2002).

El debat sobre l'estat dels estocs pesquers i l'eficàcia de la seva gestió s'ha incorporat, com un element més, a la creixent crisi global de la situació ambiental del planeta. Un estudi realitzat per Worm i col·laboradors (2006) va analitzar les tendències en les captures de diferents estocs al llarg de tot el món i va assenyalar que des de 1950 la probabilitat de col·lapse d'un estoc (definit com la caiguda de les captures a menys del 10% de la captura màxima registrada) s'havia accelerat, i havia arribat al 29% el 2003, mentre que els col·lapses acumulats (que inclouen estocs recuperats) ascendien a un 65%. D'altra banda, aquest estudi mostrava evidències que la biodiversitat reduïa la probabilitat de col·lapse i que els nivells de captures eren superiors als ecosistemes amb més biodiversitat. Tot això va permetre als mitjans especular, encara que els autors no ho feien, que el 2048 el 100% dels estocs estarien col·lapsats.

Hilborn i Ovando (2014) presenten evidències alternatives, i ho fan motivats perquè aquestes interpre-

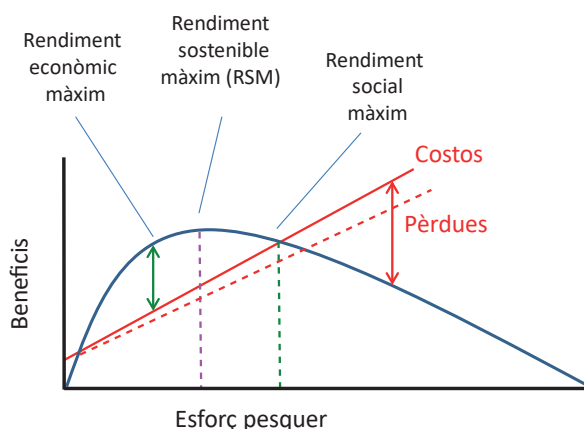


FIGURA 2. Concepte de *rendiment sostenible màxim*, representat en una figura molt estesa i utilitzada. A mesura que augmenta l'esforç pesquer, s'incrementen els beneficis fins a un punt màxim, l'anomenat *rendiment sostenible màxim* (RSM), a partir del qual comencen a disminuir. Amb l'augment de l'esforç, s'incrementen lògicament els costos (línia contínua). El rendiment econòmic màxim, en teoria, s'obté al punt on la distància entre la corba i la línia de costos és màxima. El rendiment social màxim és el punt on la línia de costos intercepta la corba de beneficis, punt a partir del qual s'entra en pèrdues. Les subvencions (línia discontinua) baixen els costos de forma que permeten un augment de l'esforç pesquer per incrementar el rendiment social màxim, encara que sigui a costa d'allunyar-se de l'RSM. Segons el SAPEA (2017), a Europa un 47% dels estocs amb RSM estimat estan sobreexplotats, xifra que puja al 90% en el cas de la Mediterrània.

FONT: Modificada a partir de SAPEA (2017).

tacions reben una escassa atenció en la literatura científica, i en conseqüència, en els mitjans i en el debat públic. En realitat, la gestió pesquera i els seus resultats són més complexos del que semblen assenyalar els seus crítics. Per exemple, les dades de l'estat dels estocs compilades per la FAO —basades en dades d'abundància i també molt criticades, però més sòlides potser que les utilitzades per Worm i col·laboradors (2006)— mostren com els col·lapses van créixer de mica en mica fins a 1990, però a partir d'aquesta data sembla produir-se una reducció i fins i tot una paralització dels col·lapses. Hilborn, com altres autors, argumenta que la gestió pesquera ha fracassat en uns llocs però ha tingut èxit en d'altres. Costello i col·laboradors (2016) han proporcionat evidències nítides de l'efectivitat dels sistemes de gestió pesquera basats en els drets dels usuaris, tal com proposava Hilborn.

Altres autors, com Pauly i Zeller (2016), després de recalculer la sèrie històrica aportada per la FAO, sostenen que la pesca extractiva no es troba en una situació d'estabilitat, com mantenen els informes periòdics anomenats *The state of world fisheries and aquaculture* (i coneguts popularment com a SOFIA, per les sigles en anglès) de la FAO, sinó que des de 1999 ha patit un descens en les captures. Així, Pauly i Zeller (2017), analitzant l'últim informe SOFIA, de l'any 2016, assenyalen que s'hi manté que la captura de la pesca mari-

na mundial és «estable». Aquests autors sostenen que aquesta percepció d'«estabilitat» a les captures marines de pesca formulada per la FAO no és certa. Una raó és que les reconstruccions de captures que s'han dut a terme en l'última dècada per a tots els països del món indiquen que, des de 1996, les captures mundials totals de pesca estan disminuint a un ritme d'1,2 milions de tones per any, i fins i tot les mateixes dades de la FAO fins a 2014 mostren una clara tendència decreixent de 0,2 milions de tones anuals, i conclouen que, en lloc d'emfatitzar una esquivada «estabilitat» de les captures de la pesca marina mundial, la FAO hauria d'emfatitzar que l'aparent estabilitat és probablement una alteració de les veritables tendències mundials, a causa de dos factors: 1) sèries temporals fiables que tendeixen a la baixa i que són compensades per sèries temporals d'escassa fiabilitat que presenten una tendència ascendent, i 2) la qualitat general dels sistemes de recollida d'informació en els últims anys representa una proporció creixent de les captures reals, sense fer correccions i ajustos en les captures registrades corresponents als anys anteriors (és a dir, un biaix de sèries de temps), fet que porta a línies de base històriques inconsistentes.

Pel que fa als rebuigs derivats de les activitats pesqueres, les estimacions realitzades per Pauly i Zeller (2016) i Zeller i col·laboradors (2017) eren d'uns 5 milions de tones en els anys cinquanta, per arribar als 19 milions de tones a finals dels anys vuitanta; després s'han reduït de mica en mica i avui dia no sobrepassen el 10% de les captures totals. Actualment continua la reducció dels rebuigs, sobretot a causa d'una reducció dels desembarcaments de la flota industrial, d'una legislació més estricta en determinades pesqueres, així com d'un aprofitament més eficient de les captures que anteriorment no s'utilitzaven. Es creu que aquest aprofitament més gran està motivat per una millora en la selectivitat de les arts de pesca i un valor de mercat més alt per a aquest tipus de captures, per usar-les d'aliment directe o per transformar-les en farina o oli de peix (Cashion *et al.*, 2017).

D'altra banda, l'ascens de l'aqüicultura durant les últimes dues dècades provoca tant d'optimisme com d'aprensivament entre els científics i els analistes de polítiques alimentàries. El cultiu de peixos i mariscs en sistemes terrestres d'aigua dolça i marins va créixer a una taxa anual del 7,8% a tot el món entre 1990 i 2010; aquesta taxa va excedir substancialment la de les aus de corral (4,6%), la carn de porc (2,2%), els productes làctics (1,4%), la carn de boví (1,0%) i els cereals (1,4%) durant el mateix període, però alhora depèn de les aportacions alimentàries tant de la pesca com dels cultius terrestres, tal com es veurà més endavant, de manera que al seu torn pot incidir en la sostenibilitat dels recursos.

En síntesi, com assenyala Hilborn (2007), ens trobem amb dos punts de vista divergents sobre l'estat i el

futur de les pesqueres. Un grup representat en bona mesura per científics amb sensibilitat ecològica i preocupació per la sostenibilitat veu el fracàs gairebé universal de la gestió pesquera i proposa l'ús d'àrees marines protegides com a eina central d'un nou enfocament per a la reconstrucció dels ecosistemes marins del món. Per altra banda, altres científics, especialment molts que treballen en agències pesqueres, tenen potser una imatge diferent: sí que reconeixen moltes pesqueres fallides, però també nombrosos èxits. Aquest grup argumenta que s'han d'aplicar les lliçons de les pesqueres reeixides per aturar el declivi i reconstruir les pesqueres amenaçades per l'excés de pesca. La principal eina per restablir els incentius que proposen és atorgar diverses formes d'accés exclusiu, incloent-hi els drets de pesca basats en la comunitat, l'assignació a les cooperatives i les quotes de pesca individuals.

En aquest sentit, cal considerar una de les més desconegudes biomasses de l'oceà: els peixos mesopelàgics, que viuen a l'oceà obert, a profunditats d'entre 200 m i 1.000 m. Mentre que el peix mesopelàgic *Cyathopterus* sp. és probablement el vertebrat més abundant a la Terra, els peixos mesopelàgics segueixen sent un dels components menys investigats de l'ecosistema d'oceà obert, amb grans llacunes en el nostre coneixement de la seva biologia i adaptacions, i fins i tot grans incerteses sobre la seva biomassa global. Les estimacions realitzades en pesca d'arrossegament calculen que la biomassa dels peixos mesopelàgics és d'uns 1.000 milions de tones, si bé Irigoien i col·laboradors (2014) consideren que caldria incrementar l'estimació en un ordre de magnitud, amb les conseqüències que aquesta ingent biomassa té a l'ecosistema marí i, per tant, a l'oceà com a rebost.

EL SUBMINISTRAMENT D'OLI I FARINA DE PEIX I EL CONCEPTE DE FIFO

L'aqüicultura és el sector alimentari de més ràpid creixement i continua expandint-se juntament amb la producció terrestre de cultius i bestiar. L'aqüicultura pot contribuir a millorar el sistema alimentari, perquè és més eficient en l'ús dels recursos i diversifica més les espècies conreades, els llocs de producció i les estratègies d'alimentació (Troell *et al.*, 2014). No obstant això, la dependència dels cultius terrestres i de les captures de la pesca per a la fabricació de pinsos, la necessitat d'aigua dolça i els impactes ambientals limiten aquesta capacitat.

Algunes de les espècies cultivades més importants, tant pel que fa al nombre de tones produïdes com al valor comercial, són carnívores. Els exemples inclouen peixos marins, com ara el salmó de l'Atlàntic (*Salmo salar*); els peixos plans cultivats arreu, com el turbot (*Scophthalmus maximus*) i diferents espècies de llen-

guado (gèneres *Solea*, *Paralichthys*, etc.), així com els principals crustacis, com ara el llagostí de potes blanques (*Litopenaeus vannamei*). Per a l'alimentació en condicions semiextensives o intensives d'aquestes espècies, s'utilitzen —sovint com a única font d'alimentació— pinsos manufacturats en els quals, en la seva composició, hi ha oli i farina de peix. L'aqüicultura d'aquests animals carnívors ha sigut tradicionalment criticada amb l'argument que no té gaire sentit capturar peix blau (sorell xilè, anxoveta peruana, sardineta, seitó, etc.) per fer-ne farina i oli de peix que després alimentarà salmons. Com es veurà més endavant, i sense restar credibilitat a la base d'aquest tipus d'arguments, el cert és que en els darrers decennis el contingut d'oli i farina de peix ha anat disminuint progressivament.

Naylor i col·laboradors (2000) van analitzar exhaustivament les incidències dels cultius marins en la mateixa producció aquícola i també la seva dependència de la pesca extractiva. Aquests fets objectius s'han estat interpretant de formes certament ambigües i en molts casos retòriques, tant des d'un punt de vista dels fluxos i dependències entre una i altra activitat, com en termes energètics o ecològics. És fàcil, doncs, establir que una part de la producció de cultiu depèn de la pesca, a través de les captures destinades a la farina de peix, i una altra part molt important d'aquesta producció és independent de la pesca, i la seva font d'energia prové directament de la producció primària dels sistemes aquàtics (particularment, les carpes filtradores i els molluscs també filtradors), o bé de fonts de l'agricultura terrestre.

En aquest sentit, Naylor i col·laboradors (2000) van mostrar que, en termes quantitius, un 50 % de la producció de l'aqüicultura era independent de l'energia obtinguda de la pesca, un 35 % només consumia el 25 % de la proteïna obtinguda de la farina de peix destinada a l'aqüicultura, i l'altre 15 % de la producció consumia el restant 75 % de la farina de peix destinada a l'aqüicultura (Naylor *et al.*, 2000). És en aquest 15 % de la producció d'aqüicultura on es trobaven espècies com el llagostí, el salmó, la truita, altres peixos marins (orada, llobarro, turbot, bacallà, etc.) i anguiles. I és precisament sobre aquest 15 % de la producció mundial de cultius marins on principalment s'han assentat els arguments ecològics que qüestionen la conversió de proteïna barata a proteïna cara, com un sistema ineficient en termes energètics.

Aquest tipus d'arguments no deixen de ser retòrics, ja que, mentre que es critica aquest tipus de conversió de proteïna barata a proteïna cara, s'oblida, o es desconeix, que si bé en els anys vuitanta el 85 % de la farina de peix obtinguda de l'activitat pesquera extractiva es destinava a la producció animal, aquesta no era aquícola, sinó avícola i porcina. El 2010 ja s'havia produït un gran canvi en la destinació de la farina de peix: ha-

via passat a utilitzar-se en pinsos aquícoles el 73 % de la farina (Shepherd i Jackson, 2013), mentre que la destinada a pinsos de porcí i avícoles es reduïa al 25 %. Aquesta última destinació no és qüestionada habitualment. També s'obvia en aquest tipus d'argumentacions que al voltant d'un 30 % de les captures a les pesqueres són retornades al mar, sense cap tipus d'aprofitament com a captures accidentals, mentre que una quantitat significativa del que és capturat es destina a la farina de peix.

La disminució constant de les captures de la pesca (FAO, 2016), sobretot la de petits pelàgics, sotmesa a àmplies fluctuacions naturals, i la demanda més elevada d'aliments vius i de l'aqüicultura han provocat una disminució ràpida de la disponibilitat de farina i oli de peix i el seu augment simultani de preus (FAO, 2016).

Així, la producció de farina de peix va aconseguir el seu màxim el 1994, amb 30,1 milions de tones (equivalent en pes viu), i des de llavors ha seguit una tendència fluctuant, però en general descendent. El 2014, la producció de farina de peix va ser de 15,8 milions de tones, com a conseqüència de la disminució de les captures d'anxoveta.

A causa de la demanda creixent de farina i oli de peix, en particular de la indústria de l'aqüicultura, juntament amb la pujada dels preus, està augmentant la farina obtinguda a partir de subproductes del peix, que anteriorment se solien rebutjar. Les estimacions oficioses de la contribució dels subproductes al volum total de farina i oli de peix la situen entre el 25 % i el 35 %. En la producció de farina i oli de peix es fan servir moltes espècies diferents, però el grup més utilitzat és el del peix gras, especialment l'anxoveta. El fenomen d'El Niño afecta les captures d'anxoveta i les mesures d'ordenació més estrictes han reduït les captures d'aquesta i altres espècies, que generalment s'utilitzen per transformar-les en farina i oli.

Com que es preveu que no s'obindrà més matèria primera a partir de les captures de peix sencer (en particular, de les espècies pelàgiques), tot augment en la producció de farina de peix haurà de procedir del reciclatge de subproductes, fet que, no obstant això, possiblement repercutirà en la seva composició.

La soja i altres plantes terrestres riques en proteïnes i lípids s'han introduït en la dieta dels peixos d'aqüicultura per reemplaçar la farina i l'oli de peix (Gatlin *et al.*, 2007). Amb tot, el ràpid creixement de la població humana ha exercit pressió sobre l'ús de les terres i la petjada ecològica d'aquestes proteïnes, relacionada amb les quantitats d'energia i aigua necessàries per produir-les, pot alterar la sostenibilitat d'aquestes alternatives (Naylor *et al.*, 2009).

Aquesta disminució en la disponibilitat i l'augment en els preus de la farina i l'oli de peix han impulsat la recerca d'alternatives sostenibles per a l'alimentació de l'aqüicultura. Els insectes, que són part de la dieta na-

tural dels peixos, deixen una petjada ecològica petita i tenen una necessitat limitada d'aigua i terra cultivable, poden ser bons candidats (Henry *et al.*, 2015). En l'última dècada, han sorgit estudis sobre el reemplaçament de la farina de peix amb insectes en la dieta dels peixos i els resultats prometedors han encoratjat la investigació. Un reemplaçament total de la farina de peix amb farina d'insectes no ha estat reeixit, probablement a causa d'un desequilibri o de deficiències en la dieta. El reemplaçament parcial amb farina d'insectes sembla possible, principalment per a espècies herbívores o omnívores, però també per a alguns peixos carnívors. La gran quantitat d'espècies d'insectes disponibles, amb diferents hàbitats, etapes de desenvolupament i hàbits d'alimentació, així com les condicions de cria òptimes, que poden afectar-ne la composició, permeten possibles investigacions futures.

S'estan estudiant altres fonts d'alimentació alternatives, en particular les grans poblacions de zooplàncton marí, com el krill antàrtic (*Euphausia superba*) i el copèpode *Calanus finmarchicus*. No obstant això, el cost dels productes derivats del zooplàncton és massa alt perquè es puguin incloure com a ingredient proteic o lipídic general al pinso per a peixos.

Si bé l'oli de peix representa la font més rica disponible d'àcids grassos poliinsaturats (AGPI) de cadena llarga, que són importants en la dieta de les persones per a una àmplia varietat de funcions vitals, la major part de l'oli de peix se segueix destinant a l'elaboració de pinsos per a l'aqüicultura.

La farina i l'oli de peix són els ingredients més nutritius i digeribles del pinso per a peixos. Per compensar els elevats preus d'aquests productes, a mesura que la demanda augmenta, la quantitat de farina i oli de peix emprada en els pinsos compostos per a l'aqüicultura mostra una clara tendència descendent, ja que s'utilitzen de manera més selectiva com a ingredients estratègics a una menor escala o per a fases concretes de la producció, en particular per a les dietes d'incubació, reproducció i acabat.

Sembla poc probable que la disponibilitat de farina de peix estabilitzi o redueixi el creixement continu de l'aqüicultura, fins i tot en el cas de les anomenades *espècies carnívores*, a causa de la disminució contínua en els nivells d'inclusió dietètica d'aquest producte als pinsos. La situació pel que fa a l'oli de peix és més complicada. Sembla que la creixent demanda d'oli de peix per al consum humà directe està limitant-ne la disponibilitat per a l'aqüicultura.

El contingut d'oli i farina de peix per als pinsos ha passat d'un 50% - 70% l'any 1970 a un 10% - 20% aproximadament avui dia (figura 3a). Així, en els pinsos actuals per a peixos carnívors com el salmó, per exemple, hi trobem que els components principals són la farina vegetal i els olis vegetals. En conjunt, la farina de peix (al voltant del 12%) i l'oli de peix (al voltant

del 8%) sumen el 20% mencionat més amunt (figura 3b). Llavors, en aquestes circumstàncies cal preguntar-se quants peixos salvatges calen avui dia per produir un peix d'aqüicultura: és el que s'anomena el concepte de FIFO, segons les sigles en anglès de *fish in / fish out*.

Si tenim en compte, d'una banda, que d'1 kg de peix salvatge, com els peixos blaus emprats a les pesqueres per al processament, se'n poden extreure uns 220 g d'oli i de farina de peix, i, com s'acaba de mencionar més amunt, 1 kg de pinso porta al voltant d'un 20% d'aquests ingredients, i, de l'altra, que avui dia gràcies a les formulacions, la palatabilitat, etc., cal 1 kg de pinso (amb un contingut d'aigua al voltant del 5%) per produir 1 kg de peix fresc d'aqüicultura, ateses les actuals taxes de conversió de l'aliment, llavors tenim que, en resum, per cada quilogram de peix salvatge s'obté 1 kg de peix d'aqüicultura, la qual cosa correspon a valors de FIFO d'1 o molt propers a 1 (figura 3c).

Això ha permès que un animal com el salmó, que és considerat un carnívor de segon nivell perquè s'alimenta d'altres peixos carnívors, i que a la natura té, per tant, un nivell tròfic una mica per sobre de 4, ara tingui en l'aqüicultura un nivell tròfic cada cop més proper a 2 (figura 3d). El nivell 1 són els productors primaris, com les plantes a terra o les algues i el fitoplàncton al mar; el nivell 2 són els anomenats *herbívoros*, com la majoria d'animals de granja a terra i els filtradors al mar; el nivell 3 són els carnívors, i a terra l'os i el llop en són bons exemples, mentre que al mar són peixos que s'alimenten de plàncton (figura 4), i els nivells 4 i superiors, sense pràcticament correspondència a terra, són els peixos habituals objecte de la pesca o la maricultura.

La conseqüència d'accelerar la substitució de l'oli de peix pels olis vegetals als pinsos és que els nivells d'àcids grassos poliinsaturats als productes resultants disminuiran, i és probable que caiguin per sota dels nivells recomanats internacionalment. Encara que és poc probable que això comprometi el creixement dels peixos cultivats, pot tenir implicacions potencials per al consumidor final i la seva salut.

Quant a l'efecte de la limitació dels subministraments de l'oli de peix en els sectors nutricional i farmacèutic, s'espera que pugui pal·liar-se amb noves fonts d'àcid icosapentaenoic (EPA) i àcid docosahexaenoic (DHA), a partir del zooplàncton i de les algues, encara que a preus més elevats que els actuals de l'oli de peix. Tot i que la producció d'EPA i DHA per cultius genèticament modificats s'està tornant experimentalment factible, no es preveu que això afecti el mercat en els propers anys, a causa de la reacció adversa del consumidor, així com de les complicacions de la producció.

Com que els guanys més importants vindran de reduir la inclusió d'oli de peix, hi ha dues vies principals per a l'èxit futur: l'acceptació d'olis d'omega-3 de

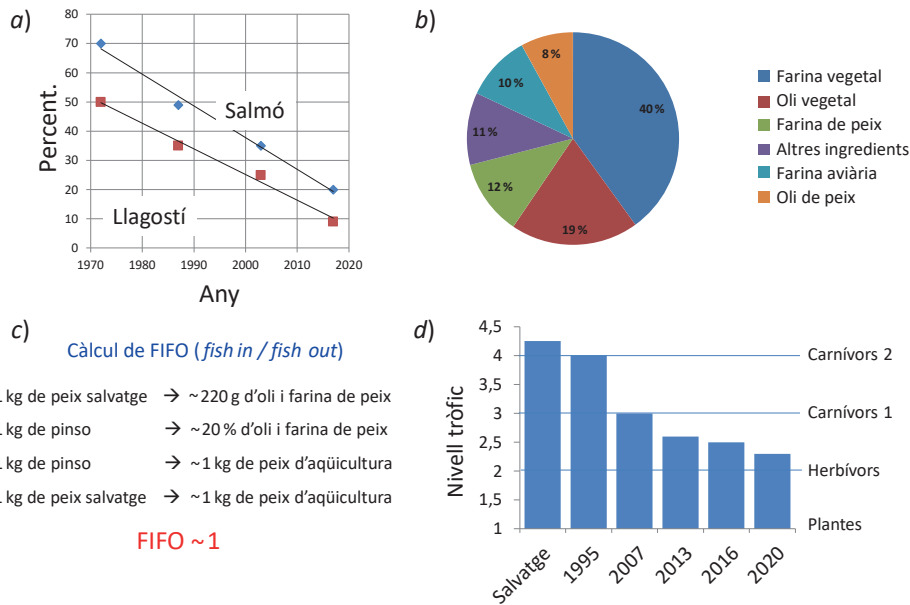


FIGURA 3. Millora en el rendiment dels carnívors. *a)* Evolució del contingut d'oli i farina de peix als pinsos per a peixos i crustacis des de 1970. *b)* Composició mitjana del pinso utilitzat en la cria de salmó a Noruega i Xile el 2016. Actualment, la inclusió de productes derivats de la pesca, farina i oli de peix, oscil·la entre el 18% i el 21%. La composició de pinsos per a altres peixos marins és similar. *c)* Càlcul de FIFO (*fish in / fish out*). Avui dia, s'han aconseguit valors de FIFO al voltant d'1, a vegades inclús inferiors, de forma que, essencialment, per produir 1 kg de peix de cultiu, cal 1 kg de peix salvatge (a la natura calen uns 10 kg). *d)* Nivell tròfic del salmó atlàntic salvatge (Froese i Pauly, 2017) i cultivat en anys diferents, utilitzant l'equació $TL_i = 1 + \sum_j (F_j \times TL_j)$, on F_j és la fracció d'un organisme alimentari, TL_j n'és el nivell tròfic i j n'és la quantitat (Gascuel i Pauly, 2009). Les dades de 2020 venen d'una predicció donada per Tacon i Metian (2008).

FONT: Elaboració pròpia (figures 3a i 3c) i modificades a partir de SAPEA (2017) (figures 3b i 3d).

plantes terrestres i el desenvolupament comercial d'olis d'organismes unicel·lulars (*single cell oil*, SCO). Aquests olis, amb un alt contingut d'omega-3 de cadena llarga, podrien reemplaçar els olis de peix, però l'alt cost de producció els fa inviables comercialment per als salmònids i els peixos marins. Aquesta restricció es podria alleujar mitjançant sinergies amb el sector dels

biocombustibles, als quals l'aqüicultura podria proporcionar mercat. El progrés continu en el desenvolupament d'alternatives a la farina de peix i l'oli de peix en els aliments aquícoles, especialment proteïnes i olis vegetals terrestres, subproductes animals i SCO, també ajudarà a reduir la pressió de l'aqüicultura sobre els recursos marins.

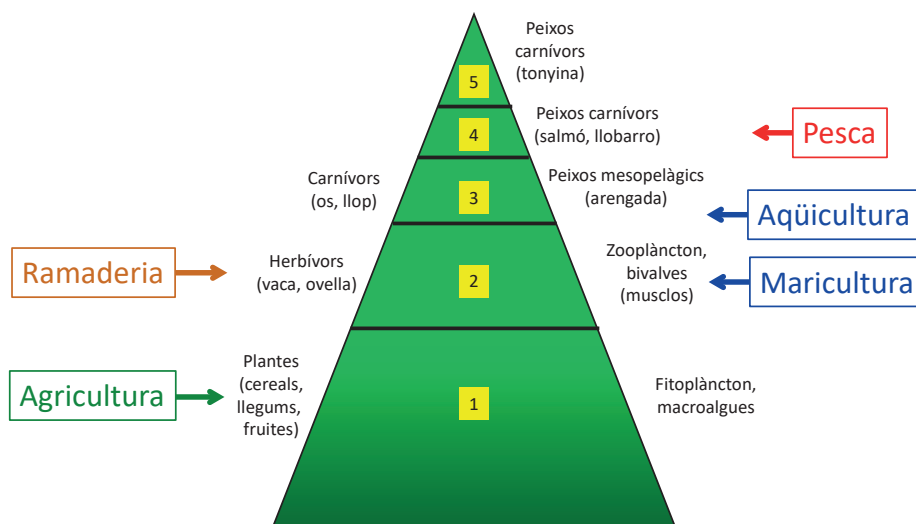


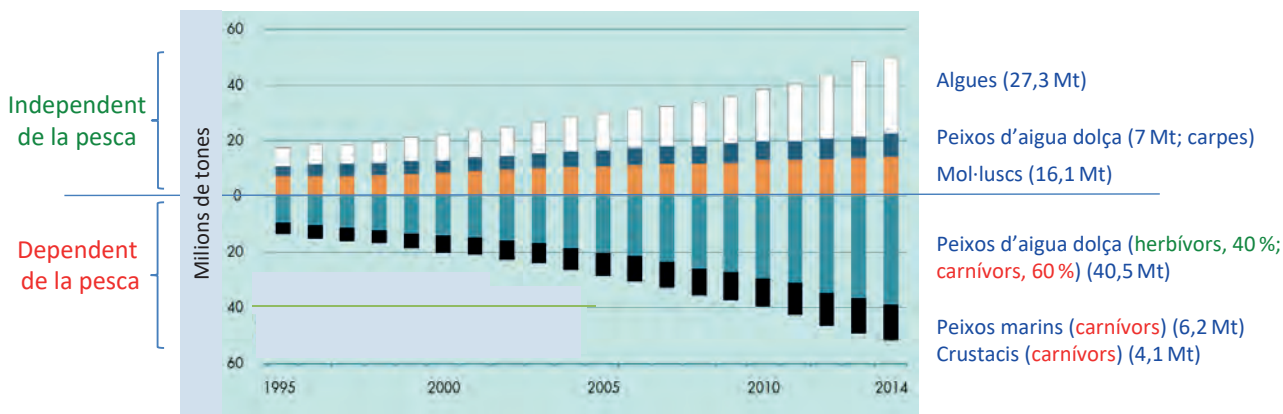
FIGURA 4. Nivells tròfics de la pesca i l'aqüicultura en comparació amb els de l'agricultura i la ramaderia. FONT: SAPEA (2017).

En resum, s'ha produït un canvi important en relació amb la situació descrita per Naylor i col·laboradors (2000). Llavors, el problema eren els peixos carnívors, donat que s'alimentaven amb pinsos amb un alt contingut d'oli i farina de peix, cosa que feia —tal com argumentaven els crítics— que l'aqüicultura fos dependent en bona mesura de la pesca. Com s'ha vist, actualment, amb una millor taxa de conversió de l'aliment, d'una banda, i amb la menor inclusió d'oli i farina de peix, de l'altra, el FIFO està al voltant o inclús per sota d'1 per a moltes espècies carnívores. Tot i així, com que hi ha la tendència a donar pinso inclús a espècies d'aigua dolça no necessàriament carnívores, per les propietats de l'oli i la farina de peix, tenim que la proporció de la producció de peixos (d'aigua dolça fonamentalment, però també marins) i crustacis (marins fonamentalment) que d'alguna forma depèn de les captures ha augmentat entre 1995 i 2014: ha passat del 78,7 % al 87,9 % (figura 5). Aquesta dada pot semblar negativa, però no ho és si en lloc de prendre només la producció de peixos i crustacis, prenem la de tota l'aqüicultura (taula 2). Veiem que la proporció de la producció que depèn de les captures va augmentar entre 1995 i 2015 un 9 % (del 41,3 % al 50,3 %), malgrat que la producció de l'aqüicultura ho va fer un 221 % (de 31,5 milions a 101,1 milions de tones) (fi-

gura 5). De fet, com s'ha comentat abans, la farina i l'oli de peix dedicats als pinsos per a l'aqüicultura representen ara aproximadament el 70 % de tot el consum d'oli i farina de peix. Tot i així, el percentatge d'oli i farina de peix en termes absoluts es manté més o menys constant: representava el 24 % dels 14 milions de tones de menjar per a l'aqüicultura el 2000, el 16% de 29 milions de tones el 2008 i es preveu que representi només el 7 % de 65 milions de tones de pinsos que faran falta per a la producció d'aqüicultura el 2020, pinsos que en bona mesura dependran, això sí, de la producció agrícola.

L'OCEÀ COM EL GRAN REBOST

A mesura que creixi la demanda de productes d'aqüicultura d'alt valor que necessiten pinso, la competència per aquests cultius de suport també augmentarà, igual que la demanda de peix silvestre, com a fonts per a l'alimentació. Molts dels cultius terrestres i dels peixos utilitzats als pinsos també proporcionen aliment directe a les llars de baixos ingressos. El seu creixent ús als pinsos aquícoles incideix en els preus i la volatilitat, empitjorant la seguretat alimentària entre les poblacions més vulnerables.



Producció (milions de tones, Mt)		Any 1995		Any 2014
Peixos d'aigua dolça	Independent de la pesca	3,5 Mt (21,3 %)		7,0 Mt (12,1 %)
	Dependent de la pesca	9,0 Mt (54,5 %)		40,5 Mt (70,1 %)
Peixos marins i crustacis	Dependent de la pesca	4,0 Mt (24,2 %)		10,3 Mt (17,8 %)
		78,7 %		87,9 %

FIGURA 5. Producció de l'aqüicultura independent i dependent de la pesca entre 1995 i 2014, en milions de tones, segons les dades de la FAO (2016). Les algues, per la condició de productors primaris, i els mol·luscs, per la condició de filtradors, sempre són independents de la pesca, en no requerir cap tipus de pinso. Dels peixos d'aigua dolça cultivats, n'hi ha d'herbívors i de carnívors.

TAULA 2. Producció de l'aqüicultura independent i dependent de la pesca entre 1995 i 2014, en milions de tones, segons les dades de la FAO (2016)

Organismes	Dependent de la pesca		Producció 1995		Producció 2014	
	No	Sí		%		%
Algues	No		7,0	22,2	27,3	27,0
Molluscs	No		8,0	25,4	16,1	15,8
Peixos d'aigua dolça	No		3,5	11,1	7,0	6,9
		Sí	9,0	28,6	40,5	40,1
Peixos marins i crustacis		Sí	4,0	12,7	10,3	10,2
Total			31,5	100,0	101,1	101,2
Total dependent de la pesca			12,0	41,3	50,8	50,3

Acceptant que un dels grans problemes de la producció d'aliment al món se situa en la disponibilitat d'aigua dolça i també de terres cultivables, no és difícil reconèixer en els oceans una de les grans potencialitats per a la producció d'aliments i també, amb l'aportació de la biotecnologia, d'altres productes químics o farmacèutics, tal com avançava Jules Verne a *Vint mil lleigües de viatge submarí*. Els afanys del capità Nemo i de la tripulació del *Nautilus* estan a prop de fer-se realitat.

Les previsions o tendències dels informes de l'Organització de Cooperació i Desenvolupament Econòmic (OCDE) i la FAO sobre perspectives aquícoles estimen per a l'any 2025 un increment en la producció marina (pesca i aqüicultura) del 17% respecte als anys base (2013-2015): arribarà als 196 milions de tones. D'aquestes, uns 102 milions de tones seran produïdes per l'aqüicultura (sense incloure-hi les algues). Aquestes tendències indiquen que l'aqüicultura passarà de contribuir a la producció marina amb un 44% a un 52%, i que el consum humà de peix obtindrà el 57% de les seves necessitats de l'aqüicultura, enfront del 50% aproximat que aquesta aportava deu anys abans.

Com que els oceans proporcionen aliments, ocupació i ingressos a milions de persones, la reducció de la pressió pesquera i la pesca sostenible són fonamentals per a la seguretat alimentària mundial (Nacions Unides, 2014). Sota aquesta concepció, Hilborn i Costello (2018) han resumit l'estat, la captura potencial, l'abundància i el benefici del 78% de les pesqueres mundials. Han descobert que per a la majoria de les pesqueres una millor administració pot generar més guanys. Per augmentar els rendiments, en alguns casos és necessari reconstruir les poblacions sobreexplotades; en d'altres, s'ha de reduir la mortalitat per pesca en les poblacions que encara són abundants però que es pesquen a gran velocitat, i, en altres, pescar algunes poblacions amb més força augmentarà el rendiment. També han trobat que Àsia ofereix la millor oportunitat per augmentar l'abundància de peixos, particularment en els casos en què els beneficis superiors causats per la reforma pesquera conduiran final-

ment a una pressió reduïda sobre les poblacions pesqueres.

Els oceans brinden un gran potencial per augmentar el creixement, en termes de guanys i fins i tot de captures, alhora que augmenta la biomassa de peixos al mar. S'ha trobat que més de la meitat del creixement blau estimat a les pesqueres es pot aconseguir reconstruint-les (especialment a les regions que no han desenvolupat intensament la gestió de noves pesqueres). Però, d'altra banda, en llocs que ja han començat el procés de reformes pesqueres, els augments en els aliments i l'ocupació possiblement hauran de provenir d'espècies encara sense explotar o de canvis en la forma en què es pesca a l'oceà. Kolding i col·laboradors (2015) han demostrat que el potencial per augmentar la pesca prové principalment de la captura d'espècies dels nivells tròfics més baixos. Han mostrat que les taxes de mortalitat natural en els nivells tròfics més baixos són entre deu i mil vegades més altes que la pressió de la pesca i que aquests nivells tròfics constitueixen un enorme recurs potencial. Aquesta perspectiva tròfica és similar al concepte de *pesca equilibrada* (García *et al.*, 2012), que suggereix que, en lloc d'explotar principalment els nivells tròfics alts, l'extracció humana ha d'equilibrar-se en tot l'espectre tròfic. No hi ha dubte que hi ha un rendiment potencial significatiu en nivells tròfics més baixos, però hi ha moltes limitacions econòmiques per explotar realment aquests nivells tròfics inferiors.

La perspectiva de la pesca mundial que sovint es dibuixa pot fer l'efecte que l'únic futur sostenible per als oceans és reduir-ne l'explotació i impedir el creixement blau. Els científics més crítics amb les possibilitats d'expansió de la pesca i amb les estadístiques de captures i anàlisi de les poblacions pesqueres, com Pauly (2018), reconeixen que si bé la gran majoria de les grans pesqueres comercials no tenen les característiques que les farien sostenibles o fins i tot capaces de ser sostenibles, les pesqueres de petita escala (incloent-hi les pesqueres artesanals, de subsistència i recreatives) sovint reuneixen la majoria d'aquestes característiques. La pesca a petita escala podria convertir-se

en un important sector de creixement blau, suposant que no s'augmenta l'esforç pesquer total i es redueixen els incentius per a la pesca industrial.

L'altre component de l'oferta ve de l'aqüicultura (Holmer *et al.*, 2008). El debat sobre l'augment de l'aqüicultura s'ha centrat principalment en la seva contribució al subministrament global d'aliments procedents d'animals aquàtics, ignorant els canvis resultants en la composició d'espècies dels peixos consumits, com es cultiven i les implicacions per a la seguretat alimentària i nutricional (Béné *et al.* 2015). Encara avui l'aqüicultura se sosté principalment en la producció en aigua dolça i en organismes filtradors marins i macroalgues. Els peixos es crien en estanys, llacs, canals, gàbies i tancs, i es beneficien d'una àmplia gamma de recursos, tecnologia i gestió. Tot i que la creixent competència per la terra i l'aigua dolça està impulsant l'expansió de l'aqüicultura cap als ambients marins, el cost i la complexitat de la tecnologia, els elevats costos de producció i les restriccions en llocs costaners adequats mantenen l'expansió contínua de l'aqüicultura en àrees terrestres. Aquestes pressions també condueixen a la intensificació dels mètodes de producció, amb un ús més freqüent d'aliments comercials. En altres zones, l'escassetat de terres i la saturació dels llocs costaners protegits estan forçant l'aqüicultura marina a establir-se més lluny de la costa.

L'aqüicultura proporciona subministraments i ingressos de peix durant tot l'any per als productors i, per tant, té el potencial de reduir la pressió sobre les poblacions silvestres. Actualment, la qüestió que es planteja rau en la capacitat de la indústria de l'aqüicultura per mantenir la taxa de creixement. En aquest sentit, la majoria de les anàlisis recents coincideixen en què l'era del creixement exponencial ha acabat i, encara que el sector continuarà creixent, s'espera que la taxa de creixement projectada es desacceleri. Les principals causes d'aquest creixement més lent probablement seran l'escassetat d'aigua dolça; la menor disponibilitat de llocs per a una producció òptima; els alts costos de la farina de peix, l'oli de peix i altres aliments, així com la necessitat de tractaments i vacunes per al cultiu que donin resposta als reptes que el cultiu intensiu genera.

Si bé l'aqüicultura pot tenir alguns efectes locals negatius, les contribucions de la recerca i la innovació tècnica, en pinsos, genètica i sanitat animal, en permetran el creixement i serà possible pal·liar els aspectes negatius d'una aqüicultura intensiva. És sobretot en l'aqüicultura industrial de peixos i crustacis on s'han dut a terme els grans avenços en tecnologies de cultiu, alimentació, sanitat animal i millora genètica. Tot això s'ha sostingut en el desenvolupament empresarial de gran inversió i en la integració vertical des de la producció fins a la conversió en aliment (Labarta, 2000).

REPTES PER AL FUTUR

La recollecció i la producció d'aliments d'origen aquàtic presenten una sèrie de reptes de diversa naturalesa: tècnics, ambientals, econòmics i socials, fonamentalment (SAPEA, 2017). A continuació es comenten breument.

Deixant a banda el problema de la sostenibilitat dels recursos marins explotats degut a la sobrepesca, els aspectes de conservació i regulació sostenible de les pesqueres, etc., la pesca en si mateixa afronta reptes tècnics (Froese *et al.*, 2016), com ara el desenvolupament d'arts més selectives, que minimitzin les captures no desitjades que acaben en la important fracció que es coneix com a *rebuig*, o que només capturin els animals del rang de mida desitjat. Això, pel que fa a les pesqueres existents. Un altre aspecte clau és el desenvolupament de mètodes que facin econòmicament rendibles pesqueres que ara o són bàsicament inexistent, o tenen poca rellevància en el context global. Es tracta de les pesqueres d'organismes com ara els copèpodes (*Calanus finmarchicus*) o el krill antàrtic (*Euphausia superba*), o la pesca de peixos mesopelàgics a fondàries d'uns 1.000 m. Les pesqueres d'aquest tipus d'organismes són objecte d'un fort debat, car no s'ha d'oblidar que totes elles són espècies clau a l'ecosistema i que, per tant, no està garantit que la seva explotació estigui exempta de riscos ecològics no anticipats, incloent-hi les captures accidentals que puguin arrossegar. A banda d'aspectes com l'acceptació pública, un repte comú és el desenvolupament de mètodes d'extracció que assegurin la viabilitat econòmica d'aquestes pesqueres.

Actualment, la recollecció (1 Mt) i el cultiu (30 Mt aproximadament) de les macroalgues es destinen fonamentalment al consum humà (83 % del total, aproximadament), sobretot en països asiàtics on n'hi ha el costum per qüestions culturals, tot i que també tenen aplicacions per a la cosmètica i per a la salut humana. Els principals reptes que el desenvolupament del cultiu de macroalgues afronta són la competència per l'ocupació de les zones costaneres, la manca de sistemes automatitzats eficaços per a la recollecció industrial, l'impacte en termes de recursos genètics en les poblacions naturals per l'encreuament amb les cultivades i, si se n'ha de popularitzar el consum, l'acceptació a molts països on no ha arrelat el costum de consumir-les. De forma similar, el cultiu d'animals filtradors, com ara els musclos i les ostres, té els reptes de l'espai, la bona qualitat de l'aigua, la sensibilitat als canvis ambientals i la pol·lució, la interacció amb les poblacions naturals, així com la manca de tecnologia per cultivar-les a mar obert.

El cultiu de peixos a les zones costaneres s'ha beneficiat del desenvolupament de gàbies flexibles i de mètodes automatitzats d'alimentació i de gestió dels estocs. Aquests mètodes estan en un fort desenvolupament,

atesa la integració de sistemes de bombament (per al maneig dels animals o la distribució de l'aliment), així com de monitoratge (per exemple, càmeres subaquàtiques per al càlcul i el seguiment en temps real de la biomassa dels estocs). Actualment hi ha una aposta també pel desenvolupament de gàbies semisubmergides o completament submergides, fixes o arrossegades, a llocs com Hawaii o Puerto Rico.

Els reptes de tipus ambiental tenen l'origen en el canvi climàtic i la pol·lució. L'augment de la temperatura com a conseqüència dels gasos d'efecte d'hivernacle provoca canvis fisicoquímics als oceans que ja s'estan observant (augment del nivell de l'aigua, dels fenòmens extrems, de la temperatura i de l'acidificació de l'aigua) i que, de retruc, afecten la xarxa tròfica, amb canvis biogeogràfics per la modificació de la distribució d'algunes espècies. Això s'ha vist, per exemple, amb la penetració de l'alatxa (*Sardinella aurita*) cada cop a zones més meridionals del Mediterrani (Sabatés *et al.*, 2006). L'acidificació dels oceans pot amenaçar el cultiu de mol·luscs a tot el món (Allison, Badjeck i Meinhold, 2011), i amb el temps pot alterar la funció general de les xarxes alimentàries marines que sostenen la provisió de farina i oli de peix per a l'alimentació de l'aqüicultura. Aquests canvis tenen, per descomptat, efectes sobre les pesqueres i l'aqüicultura (Seggel, De Young i Soto, 2016). En aquest sentit, un estudi que analitzà 67 zones econòmiques exclusives (ZEE), representatives d'aproximadament el 60 % de les captures globals, va determinar que hi haurien països en què l'escalfament global afavoriria les captures, com a conseqüència d'una producció primària més elevada, mentre que n'hi hauria d'altres que en sortirien perjudicats, amb un increment global de les captures d'un 3,4 % de mitjana (Barange *et al.*, 2014). Tanmateix, un estudi posterior en què s'han tingut en compte no només les ZEE, sinó les àrees a mar obert, representatiu de gairebé el 100 % de les captures, conclou que no hi ha cap model que doni un increment net de cara al futur (Tittensor *et al.*, 2018). Per tant, les perspectives per a la pesca en relació amb els efectes del canvi climàtic no són gaire bones. Quelcom de similar podria dir-se pel que fa a l'aqüicultura. Es considera que un escalfament global pot beneficiar el cultiu d'algunes espècies d'aigua dolça, com la tilàpia del Nil (*Oreochromis niloticus*) i les carpes (*Cyprinus carpio*), però en global els auguris no són bons pel que fa a la maricultura. En efecte, els fenòmens extrems associats a aquest canvi climàtic, com ara un increment en el nombre i la magnitud dels temporals marítims, tindran, sens dubte, uns efectes negatius sobre les instal·lacions costaneres (Seggel *et al.* 2016). Així mateix, l'acidificació del mar pot comportar problemes per a la formació de la closca calcària dels mol·luscs (Narita i Rehdanz, 2017).

Finalment, cal esmentar que hi ha incerteses econòmiques i també socials. Les inversions en pesca i mari-

cultura estan lligades a la disponibilitat de capital, però els bancs i els inversors, malgrat un context neoliberal, amb el pas de moltes empreses familiars petites a una única empresa vertical i corporativa en l'àmbit de la pesca i l'aqüicultura (Knott i Neis, 2017), sovint estan poc decidits, degut a la legislació complexa per a l'obtenció de noves llicències d'explotació, a banda de les incerteses tècniques esmentades més amunt, així com les de mercat. En aquest sentit, encara romanen molts falsos prejudicis en l'acceptació dels productes de l'aqüicultura, com ara la poca diversitat en l'oferta, l'ús d'antibiòtics, els efectes sobre les pesqueres i les manipulacions genètiques, mentre que els aspectes valorats més positivament són la constant disponibilitat, el preu més competitiu, la traçabilitat i el control sanitari, segons es desprèn d'un estudi local a l'àrea de Barcelona (Reig *et al.*, 2019). És imperatiu aclarir, però, que l'ús d'antibiòtics s'ha reduït enormement degut als avenços en la comprensió de les malalties que poden afectar els animals produïts i, especialment, al desenvolupament de vacunes profilàctiques contra les principals malalties. Per altra banda, simplement no existeix la manipulació genètica en productes d'aqüicultura cultivats a Europa (de fet, fins ara s'aplica només a algunes poques espècies a uns pocs països asiàtics). Finalment, com s'ha vist anteriorment amb els valors de FIFO a l'entorn d'1, estrictament parlant, el cost energètic per als ecosistemes marins de produir 1 kg de peix carnívor és unes deu vegades inferior a la piscicultura que a la natura.

CONCLUSIONS

Fins a final d'aquest segle, es preveu un increment fort i sostingut de la demanda de proteïna animal d'origen aquàtic. Aquest increment de la demanda és conseqüència de diversos factors que es combinen alhora: *a*) l'increment de la població humana; *b*) l'increment del consum calòric i, en particular, de l'associat amb el consum de proteïna animal, com a conseqüència del desenvolupament econòmic, i *c*) el canvi d'hàbits cap a un consum més alt a tot arreu de peix i productes aquàtics en general, degut a les propietats saludables que tenen associades. Malgrat això, amb la situació actual, amb un 90 % dels estocs de pesca mundials completament explotats o sobreexplotats, sembla clar que la pesca ja no pot ni de bon tros satisfer la demanda, cosa que, com ja passa ara, cada cop depèn més de l'aqüicultura. Altrament, les fonts alternatives per augmentar el rendiment de la recol·lecció sostenible, com ara una millor gestió de les pesqueres, una utilització més gran del rebuig, així com la pesca d'organismes actualment poc explotats (copèpodes, *krill* i peixos mesopelàgics), presenten importants reptes tècnics, atesos el poc desenvolupament dels mitjans de recol·lecció necessaris i els riscos ecològics per la posició clau

d'aquestes espècies a l'ecosistema marí, així com d'acceptació social. L'aqüicultura, però, és encara majoritàriament d'aigua dolça, si n'excloem les plantes aquàtiques, fet que comporta una pressió pels recursos hídrics, àmpliament utilitzats cada cop més per l'agricultura i la ramaderia. Com a aspecte positiu, l'aqüicultura ha estat capaç d'esdevenir cada cop menys dependent de les captures, malgrat que el percentatge de la producció que d'alguna forma o altra en depèn hagi augmentat. Això és degut al fet que, tot i que sigui el sector que consumeix més oli i farina de peix per als pinsos en termes absoluts, els valors d'aquest consum s'han mantingut estables en els darrers anys, malgrat l'important increment de la producció total de l'aqüicultura. Per altra banda, el desenvolupament d'una aqüicultura exclusivament marina en què el cicle de producció depengui només de la producció del mar, a fi d'alliberar-se de la creixent dependència de la proteïna d'origen vegetal per a la fabricació de pinsos, tal com es va proposar (Duarte *et al.*, 2009), no sembla factible, ni a curt ni a mitjà termini. El desenvolupament de fonts d'àcids grassos omega-3 alternatives, amb la col·laboració de la biotecnologia (per exemple, Xue *et al.*, 2013), permetrà en un termini curt la independència de l'aqüicultura dels olis de peix. A més, existeixen incerteses degudes al context del canvi climàtic i també econòmiques. Malgrat tot, cal treballar per la conscienciació, el canvi d'actituds i l'adopció d'hàbits de consum més sostenibles a la societat.

AGRAÏMENTS

Francesc Piferrer agraeix a la Reial Acadèmia de Ciències i Arts de Barcelona l'oportunitat concedida per preparar la conferència que ha donat lloc a aquest capítol. Els autors agraeixen a les persones següents els seus comentaris: membres del Grup de Biologia de la Reproducció de l'Institut de Ciències del Mar (Laia Ribas, Dafni Anastasiadi, Alejandro Valdivieso, Susanna Pla, Núria Sánchez, Javier Moraleda, Òscar Cubota i Marta Caballero), Manuel Barange (FAO, Roma), Fernando de la Gándara (Institut Espanyol d'Oceanografia, Múrcia), Lourdes Reig (UPC), Albert Tacon (Aquatic Farms, Hawaii) i Juan Carlos Navarro (CSIC, Castelló); així com als membres de l'Institut de Ciències del Mar (CSIC) següents: Marta Coll, Marta Estrada, Jordi Leonart, Cèlia Marrasé, Ramon Massana, Francesc Maynou, Jordi Solé, Dolors Vaqué i Roger Villanueva.

REFERÈNCIES BIBLIOGRÀFIQUES

ALLISON, E. H.; BADJECK, M. C.; MEINHOLD, K. (2011). «The implications of global climate change

- for molluscan aquaculture». A: SHUMWAY, S. E. (ed.). *Shellfish aquaculture and the environment*. Hoboken, NJ: Wiley-Blackwell, p. 461-490.
- BARANGE, M.; MERINO, G.; BLANCHARD, J. L.; SCHOLTENS, J.; HARLE, J.; ALLISON, E. H.; ALLEN, J. I.; HOLT, J.; JENNINGS, S. (2014). «Impacts of climate change on marine ecosystem production in societies dependent on fisheries». *Nature Climate Change*, vol. 4, núm. 3, p. 211-216.
- BÉNÉ, C.; BARANGE, M.; SUBASINGHE, R.; PINS-TRUP-ANDERSEN, P.; MERINO, G.; HEMRE, G.-I.; WILLIAMS, M. (2015). «Feeding 9 billion by 2050: Putting fish back on the menu». *Food Security*, vol. 7, núm. 2, p. 261-274.
- CASHION, T.; LE MANACH, F.; ZELLER, D.; PAULY, D. (2017). «Most fish destined for fishmeal production are food-grade fish». *Fish and Fisheries*, vol. 18, núm. 5, p. 837-844.
- COHEN, J. E. (2003). «Human population: The next half century». *Science*, vol. 302, núm. 5648, p. 1172-1175.
- COSTELLO, C.; OVANDO, D.; CLAVELLE, T.; STRAUSS, C. K.; HILBORN, R.; MELNYCHUK, M. C.; RADER, D. N. (2016). «Global fishery prospects under contrasting management regimes». *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, vol. 113, núm. 18, p. 5125-5129. DOI 10.1073/pnas.1520420113.
- DUARTE, C. M.; HOLMER, M.; OLSEN, Y.; SOTO, D.; MARBÀ, N.; GUIU, J.; KARAKASSIS, I. (2009). «Will the oceans help feed humanity?». *BioScience*, vol. 59, núm. 11, p. 967-976. DOI 10.1525/bio.2009.59.11.8.
- DUARTE, C. M.; MARBÀ, N.; HOLMER, M. (2007). «Rapid domestication of marine species». *Science*, vol. 316, núm. 5823, p. 382-383.
- FAO (2012). *World agriculture towards 2030/2050: The 2012 revision* [en línia]. <<http://www.fao.org/docrep/016/ap106e/ap106e.pdf>>.
- (2015). *FAO Statistical Pocketbook 2015: World food and agriculture*. Roma: FAO.
- (2016). *The state of world fisheries and aquaculture 2016: Contributing to food security and nutrition for all* [en línia]. <<http://www.fao.org/3/a-i5555e.pdf>>.
- FROESE, R.; PAULY, D. (2017). *Fishbase* [en línia]. <<http://www.fishbase.org>>.
- FROESE, R.; WINKER, H.; GASCUEL, D.; SUMAILA, U. R.; PAULY, D. (2016). «Minimizing the impact of fishing». *Fish and Fisheries*, vol. 17, núm. 3, p. 785-802.
- GARCÍA, S. M.; KOLDING, J.; RICE, J.; ROCHET, M.-J.; ZHOU, S.; ARIMOTO, T.; BEYER, J. E.; BORGES, L.; BUNDY, A.; DUNN, D.; FULTON, E. A.; HALL, M.; HEINO, M.; LAW, R.; MAKINO, M.; RIJNSDORP, A. D.; SIMARD, F.; SMITH, A. D. M. (2012). «Reconsidering the consequences of selective fisheries». *Science*, vol. 335, núm. 6072, p. 1045-1047.

- GASCUEL, D.; PAULY, D. (2009). «EcoTroph: Modelling marine ecosystem functioning and impact of fishing». *Ecological Modelling*, vol. 220, núm. 21, p. 2885-2898. DOI 10.1016/j.ecolmodel.2009.07.031.
- GATLIN, D. M.; BARROWS, F. T.; BROWN, P.; DABROWSKI, K.; GAYLORD, T. G.; HARDY, R. W.; HERMAN, E.; HU, G. S.; KROGDAHL, Å.; NELSON, R.; OVERTURE, K.; RUST, M.; SEALEY, W.; SKONBERG, D.; SOUZA, E. J.; STONE, D.; WILSON, R.; WURTELE, E. (2007). «Expanding the utilization of sustainable plant products in aquafeeds: A review». *Aquaculture Research*, vol. 38, núm. 6, p. 551-579.
- HENRY, M.; GASCO, L.; PICCOLO, G.; FOUNTOLAKI, E. (2015). «Review on the use of insects in the diet of farmed fish: Past and future». *Animal Feed Science and Technology*, vol. 203, p. 1-22.
- HILBORN, R. (2007). «Moving to sustainability by learning from successful fisheries». *Ambio*, vol. 36, núm. 4, p. 296-303.
- HILBORN, R.; COSTELLO, C. (2018). «The potential for blue growth in marine fish yield, profit and abundance of fish in the ocean». *Marine Policy*, vol. 87, p. 350-355.
- HILBORN, R.; OVANDO, D. (2014). «Reflections on the success of traditional fisheries management». *ICES Journal of Marine Science*, vol. 71, núm. 5, p. 1040-1046.
- HOLMER, M.; BLACK, K.; DUARTE, C. M.; MARBÀ, N.; KARAKASIS, I. (ed.) (2008). *Aquaculture in the ecosystem*. Berlín: Springer. ISBN 978-1-4020-6809-6.
- IRIGOIEN, X.; KLEVJER, T. A.; RØSTAD, A.; MARTÍNEZ, U.; BOYRA, G.; ACUÑA, J. L.; BODE, A.; ECHEVERRÍA, F.; GONZÁLEZ-GORDILLO, J. I.; HERNÁNDEZ-LEÓN, S.; AGUSTÍ, S.; AKSNES, D. L.; DUARTE, C. M.; KAARTVEDT, S. (2014). «Large mesopelagic fishes biomass and trophic efficiency in the open ocean». *Nature Communications*, vol. 5, art. núm. 3271.
- KNOTT, C.; NEIS, B. (2017). «Privatization, financialization and ocean grabbing in New Brunswick herring fisheries and salmon aquaculture». *Marine Policy*, vol. 80, p. 10-18.
- KOLDING, J.; BUNDY, A.; ZWIETEN, P. A. van; PLANK, M. J. (2015). «Fisheries, the inverted food pyramid». *ICES Journal of Marine Science*, vol. 73, núm. 6, p. 1697-1713.
- LABARTA, U. (2000). *Desarrollo e innovación empresarial en la acuicultura: Una perspectiva gallega en un contexto internacionalizado*. Fundación Caixa Galicia. Centro de Investigación Económica y Financiera. 73 p. (Documentos de Economía; 6)
- MAGUIRE, J. J. (2002). *El criterio de precaución en la gestión de los recursos pesqueros*. Fundación Caixa Galicia. Centro de Investigación Económica y Financiera, p. 1-25. (Documentos de Economía; 17)
- MOKSNESS, E.; KJORVISK, E.; OLSEN, Y. (2004). *Culture of cold-water marine fish*. Oxford: Blackwell.
- NACIONES UNIDAS (2014). *The role of seafood in global food security* [en línea]. <http://www.un.org/depts/los/general_assembly/contributions_2014/FAO%20contribution%20UN%20SG%20OLOS%20report%20Part%20I%20FINAL.pdf> [Consulta: 23 abril 2018].
- NACIONES UNIDAS. DEPARTAMENT D'AFERS ECONÒMICS I SOCIALS. DIVISIÓ DE POBLACIÓ (2017). *World Population Prospects. The 2017 Revision. Key Findings and Advance Tables* [en línea]. (Working Paper No. ESA/P/WP/248). <https://esa.un.org/unpd/wpp/publications/Files/WPP2017_KeyFindings.pdf> [Consulta: 23 abril 2018].
- NARITA, D.; REHDANZ, K. (2017). «Economic impact of ocean acidification on shellfish production in Europe». *Journal of Environmental Planning and Management*, vol. 60, núm. 3, p. 500-518. DOI 10.1080/09640568.2016.1162705.
- NAYLOR, R. L.; GOLDBURG, R. J.; PRIMAVERA, J. H.; KAUTSKY, N.; BEVERIDGE, M. C. M.; CLAY, J.; FOLKE, C.; LUBCHENCO, J.; MOONEY, H.; TROELL, M. (2000). «Effect of aquaculture on world fish supplies». *Nature*, vol. 405, núm. 6790, p. 1017-1024.
- NAYLOR, R. L.; HARDY, R. W.; BUREAU, D. P.; CHIU, A.; ELLIOTT, M.; FARRELL, A. P.; FORSTER, I.; GATLIN, D. M.; GOLDBURG, R. J.; HUA, K.; NICHOLS, P. D. (2009). «Feeding aquaculture in an era of finite resources». *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, vol. 106, núm. 36, p. 15103-15110.
- PAULY, D. (2018). «A vision for marine fisheries in a global blue economy». *Marine Policy*, vol. 87, p. 371-374.
- PAULY, D.; ZELLER, D. (2016). «Catch reconstructions reveal that global marine fisheries catches are higher than reported and declining». *Nature Communications*, vol. 7, art. núm. 10244. DOI 10.1038/ncomms10244.
- (2017). «Comments on FAOs *State of World Fisheries and Aquaculture* (SOFIA 2016)». *Marine Policy*, vol. 77, p. 176-181.
- RANA, K. J.; SIRIWARDENA, S.; HASAN, M. R. (2009). *Impact of rising feed ingredient prices on aquafeeds and aquaculture production*. Roma: Food and Agriculture Organization of the United Nations. 63 p. (FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper)
- REIG, L.; ESCOBAR, C.; CARRASSÓN, M.; CONSTENLA, M.; GIL, J. M.; PADRÓS, F.; PIFERRER, F.; FLOS, R. (2019). «Aquaculture perceptions in the Barcelona metropolitan area from fish and seafood wholesalers, fishmongers, and consumers». *Aquaculture*, vol. 510, p. 256-266. DOI 10.1016/j.aquaculture.2019.05.066.

- ROSEGRANT, M. W.; AGCAOILI-SOMBILLA, M. C.; PÉREZ, N. D. (1995). *Global food projection 2020: Implications for investment*. International Food Policy Research Institute. 68 p. (Discussion Paper; 5)
- SABATÉS, A.; MARTÍN, P.; LLORET, J.; RAYA, V. (2006). «Sea warming and fish distribution: The case of the small pelagic fish, *Sardinella aurita*, in the western Mediterranean». *Global Change Biology*, vol. 12, núm. 11, p. 2209-2219.
- SAPEA (SCIENCE ADVICE FOR POLICY BY EUROPEAN ACADEMIES) (2017). *Food from the oceans: How can more food and biomass be obtained from the oceans in a way that does not deprive future generations of their benefits?* [en línia]. Berlín: SAPEA. <<https://www.sapea.info/wp-content/uploads/FFOFINALREPORT.pdf>> [Consulta: 25 abril 2018]. DOI 10.26356/foodfromtheoceans.
- SEGEL, A.; DE YOUNG, C.; SOTO, D. (2016). «Climate change implications for fisheries and aquaculture. Summary of the findings of the Intergovernmental Panel on Climate Change Fifth Assessment Report». *FAO Fisheries and Aquaculture Circular* [en línia], núm. C1122. <<http://www.fao.org/3/a-i5707e.pdf>> [Consulta: 23 abril 2018].
- SHEPHERD, C. J.; JACKSON, A. J. (2013). «Global fishmeal and fish-oil supply: Inputs, outputs and markets». *Journal of Fish Biology*, vol. 83, núm. 4, p. 1046-1066. DOI 10.1111/jfb.12224.
- TACON, A. G.; METIAN, M. (2008). «Global overview on the use of fish meal and fish oil in industrially compounded aquafeeds: Trends and future prospects». *Aquaculture*, vol. 285, núm. 1, p. 146-158. DOI 10.1016/j.aquaculture.2008.08.015.
- TITTENSOR, D. P.; EDDY, T. D.; LOTZE, H. K.; GALBRAITH, E. D.; CHEUNG, W.; BARANGE, M.; BLANCHARD, J. L.; BOPP, L.; BRYNDUM-BUCHHOLZ, A.; BÜCHNER, M.; BULMAN, C.; CAROZZA, D. A.; CHRISTENSEN, V.; COLL, M.; DUNNE, J. P.; FERNANDES, J. A.; FULTON, E. A.; HOBDAV, A. J.; HUBER, V.; JENNINGS, S.; JONES, M.; LEHODEY, P.; LINK, J. S.; MACKINSON, S.; MAURY, O.; NIIRANEN, S.; OLIVEROS-RAMOS, R.; ROY, T.; SCHEWE, J.; SHIN, Y.-J.; SILVA, T.; STOCK, C. A.; STEENBEEK, J.; UNDERWOOD, P. J.; VOLKHOLZ, J.; WATSON, J. R.; WALKER, N. D. (2018). «A protocol for the intercomparison of marine fishery and ecosystem models: Fish-MIP v1.0». *Geoscientific Model Development* [en línia], vol. 11, p. 1421-1442. <<https://www.geosci-model-dev.net/11/1421/2018/>>.
- TROELL, M.; NAYLOR, R. L.; METIAN, M.; BEVERIDGE, P. H.; TYEDMERS, C.; FOLKE, K. J.; ARROW, S.; BARRETT, A.-S.; CRÉPIN, P. R.; EHRLICH, Å.; GREN, N.; KAUTSKY, S. A.; LEVIN, K.; NYBORG, H.; ÖSTERBLUM, S.; POLASKY, M.; SCHEFFER, B. H.; WALKER, T.; XEPAPADEAS; ZEEUW, A. de (2014). «Does aquaculture add resilience to the global food system?». *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, vol. 111, núm. 37, p. 13257-13263.
- WIJKSTRÖM, U. N. (2003). «Short and long-term prospects for consumption of fish». *Veterinary Research Communications*, vol. 27, núm. 1, p. 461-468.
- WORM, B.; BARBIER, E. B.; BEAUMONT, N.; DUFFY, J. E.; FOLKE, C.; HALPERN, B. S.; SALA, E. (2006). «Impacts of biodiversity loss on ocean ecosystem services». *Science*, vol. 314, núm. 5800, p. 787-790.
- XUE, Z.; SHARPE, P. L.; HONG, S. P.; YADAV, N. S.; XIE, D.; SHORT, D. R.; DAMUDE, H. G.; RUPERT, R. A.; SEIP, J. E.; WANG, J.; POLLAK, D. W.; BOSTICK, M. W.; BOSAK, M. D.; MACCOOL, D. J.; HOLLERBACH, D. H.; ZHANG, H.; ARCILLA, D. M.; BLEDSE, S. A.; CROKER, K.; MCCORD, E. F.; TYREUS, B. D.; JACKSON, E. N.; ZHU, Q. (2013). «Production of omega-3 eicosapentaenoic acid by metabolic engineering of *Yarrowia lipolytica*». *Nature Biotechnology*, vol. 31, núm. 8, p. 734-740. DOI 10.1038/nbt.2622. [Publicat en línia el 21 de juliol de 2013]
- ZELLER, D.; CASHION, T.; PALOMARES, M.; PAULY, D. (2017). «Global marine fisheries discards: A synthesis of reconstructed data». *Fish and Fisheries*, vol. 19, núm. 1, p. 30-39.