



# Modul 1. Učinci globalnog zatopljenja na kvalitetu vode i utjecaj na akvakulturu

doc. dr. sc. Anželika Dautartė  
Sveučilište Vytautas Magnus



# Uvod

- Porast temperatura ubrzava metabolizam u vodenim vrstama, povećavajući potrebu za kisikom i uzrokujući probleme s rastom i reprodukcijom.
- Obalni ekosustavi i ekosustavi ušća pod utjecajem su fluktuacija saliniteta, potaknutih otapanjem polarnog leda i promjenom oborina (Guimbeau i sur., 2024.; Mensah i sur., 2025).
- Promjene saliniteta narušavaju rasprostranjenost vrsta, smanjuju biološku raznolikost i kompliciraju operacije akvakulture.
- Otjecanje hranjivih tvari (iz poljoprivrede, industrije, gradova) potiče eutrofikaciju → dovodi do štetnog cvjetanja algi (HAB), gubitka kisika i kolapsa ekosustava.
- Eutrofikacija se povećava zbog ljudske aktivnosti i klimatskih promjena, uzrokujući velike ekološke i ekonomske utjecaje (Zhang i sur., 2024.; Mensah i sur., 2025).



# Uvod

- Suša i nepredvidive kiše smanjuju dostupnost vode i ometaju hidrološke cikluse (DeNicola i sur., 2015.).
- Zagađenje i loše upravljanje vodama pogoršavaju kvalitetu vode, prijeteci ekosustavima i ljudima.
- Toplija voda opterećuje vodene vrste i povećava rizik od patogeni i paraziti → smanjuje prinose i profitabilnost akvakulture (Moussa i sur., 2025.).
- Globalno zatopljenje mijenja geografiju akvakulture: zagrijavanje mora, promjene oceanskih struja i promjene oborina utječu na prikladnost lokacije.
- Farme se moraju preseliti, suočavajući se s novim prijetnjama poput invazivnih vrsta i autohtonih poremećaja ekosustava.
- Te promjene imaju ozbiljne socioekonomske i ekološke posljedice koje zahtijevaju hitno djelovanje.



# 1. UČINCI GLOBALNOG ZATOPLJENJA NA KVALITETU VODE



## 1.1. Toplinska stratifikacija i iscrpljivanje kisika u vodenim ekosustavima

- Toplinska stratifikacija stvara slojeve zbog temperaturnih razlika.
- Globalno zagrijavanje pojačava razdvajanje površinskih i dubokih voda.
- Ograničeno vertikalno miješanje rezultira iscrpljivanjem kisika u dubljim slojevima.
- Primjeri regija:
- Istočni tropski Pacifik, Arapsko more.

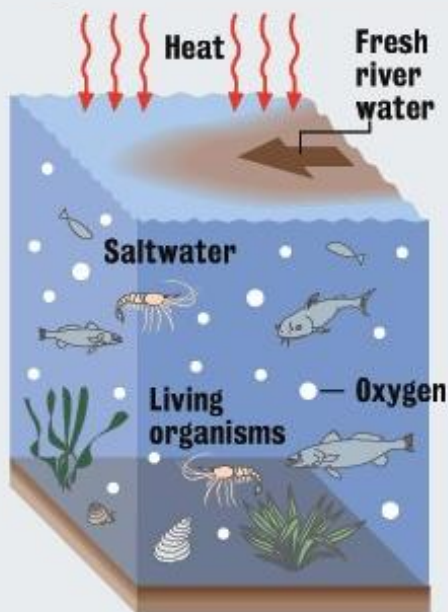


## Regionalni i globalni trendovi

- Globalni pad kisika u oceanima: 2% od 1960.
- Obalne hipoksične zone:
  - Meksički zaljev,
  - Zaljev Chesapeake.
- Satelitski uvidi:
  - Upwelling područja pokazuju visoku varijabilnost kisika.

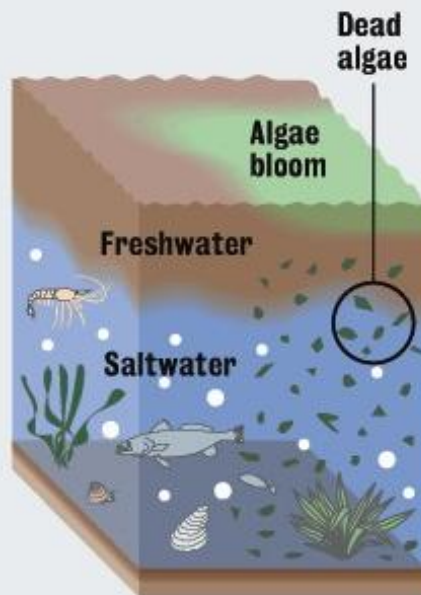


# Kako nastaju mrtve zone



**1** During the spring, sun-heated freshwater runoff from the Mississippi River creates a barrier layer in the Gulf, cutting off the saltier water below from contact with oxygen in the air.

Source: Staff research



**2** Nitrogen and phosphorus from fertilizer and sewage in the freshwater layer ignite huge algae blooms. When the algae die, they sink into the saltier water below and decompose, using up oxygen in the deeper water.



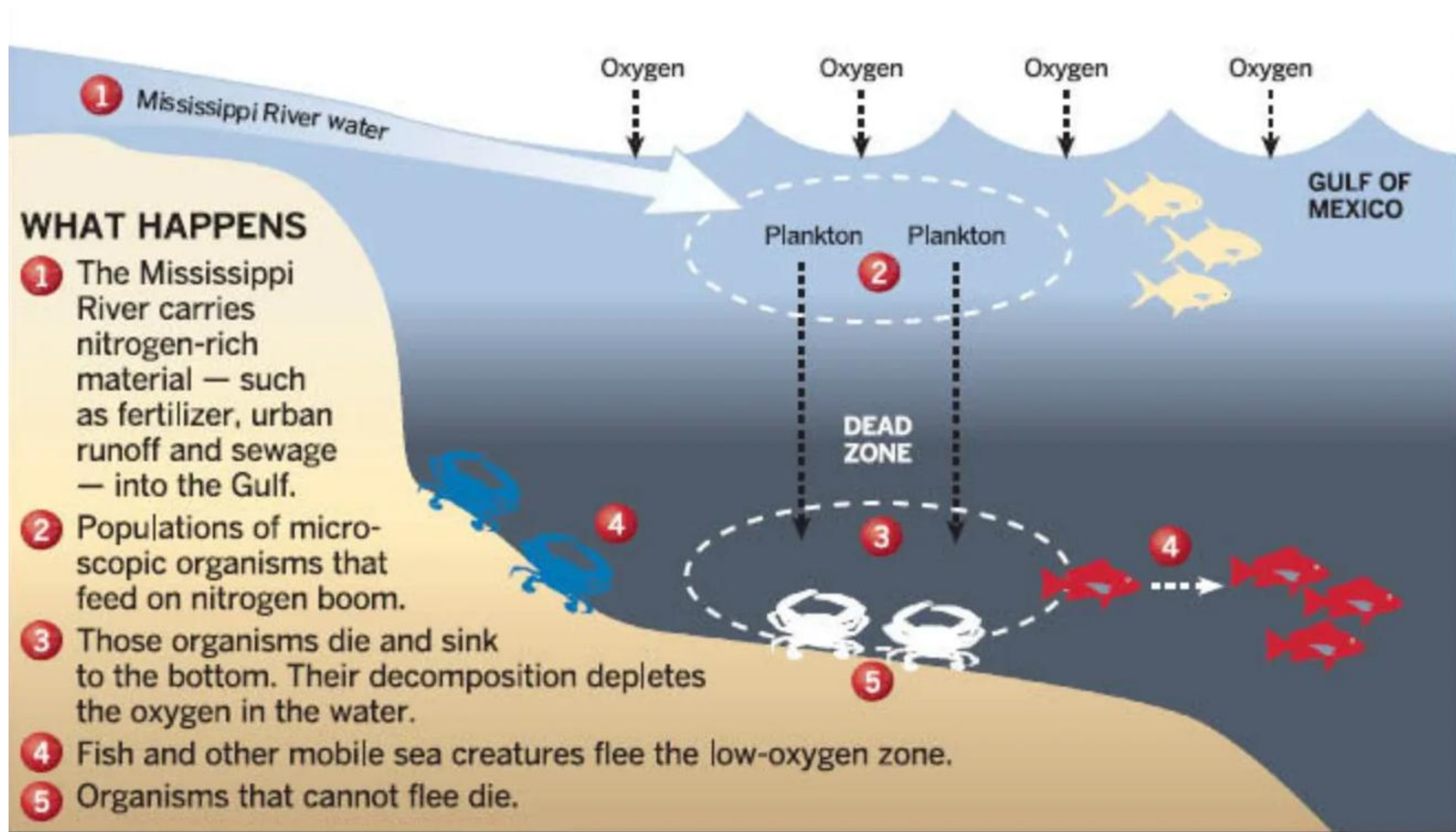
**3** Starved of oxygen and cut off from resupply, the deeper water becomes a dead zone. Fish avoid the area or die in massive numbers. Tiny organisms that form the vital base of the Gulf food chain also die. Winter brings respite, but spring runoffs start the cycle anew.

STAFF GRAPHIC BY DAN SWENSON





# Kako se stvara "mrtva zona" u Meksičkom zaljevu



Source: U.S. Environmental Protection Agency

Advocate graphic

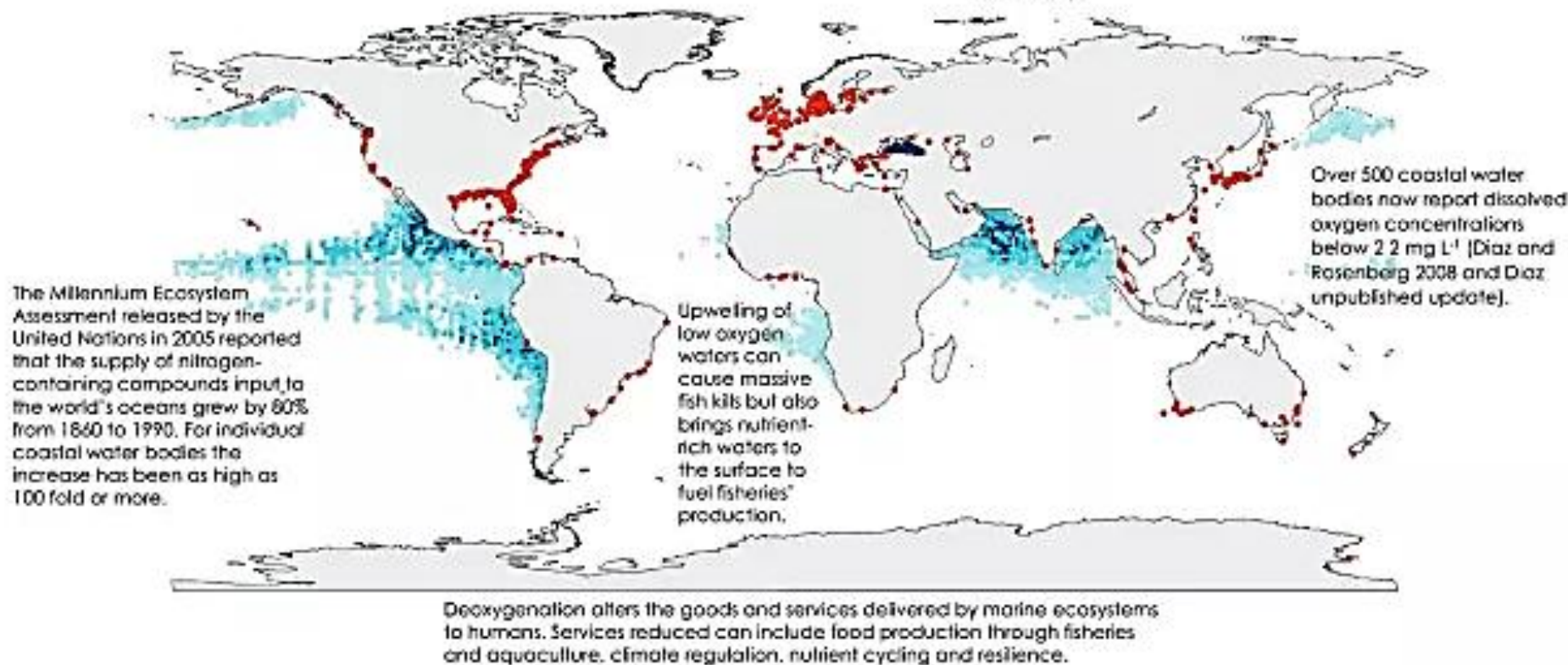




# Deoksigenacija oceana

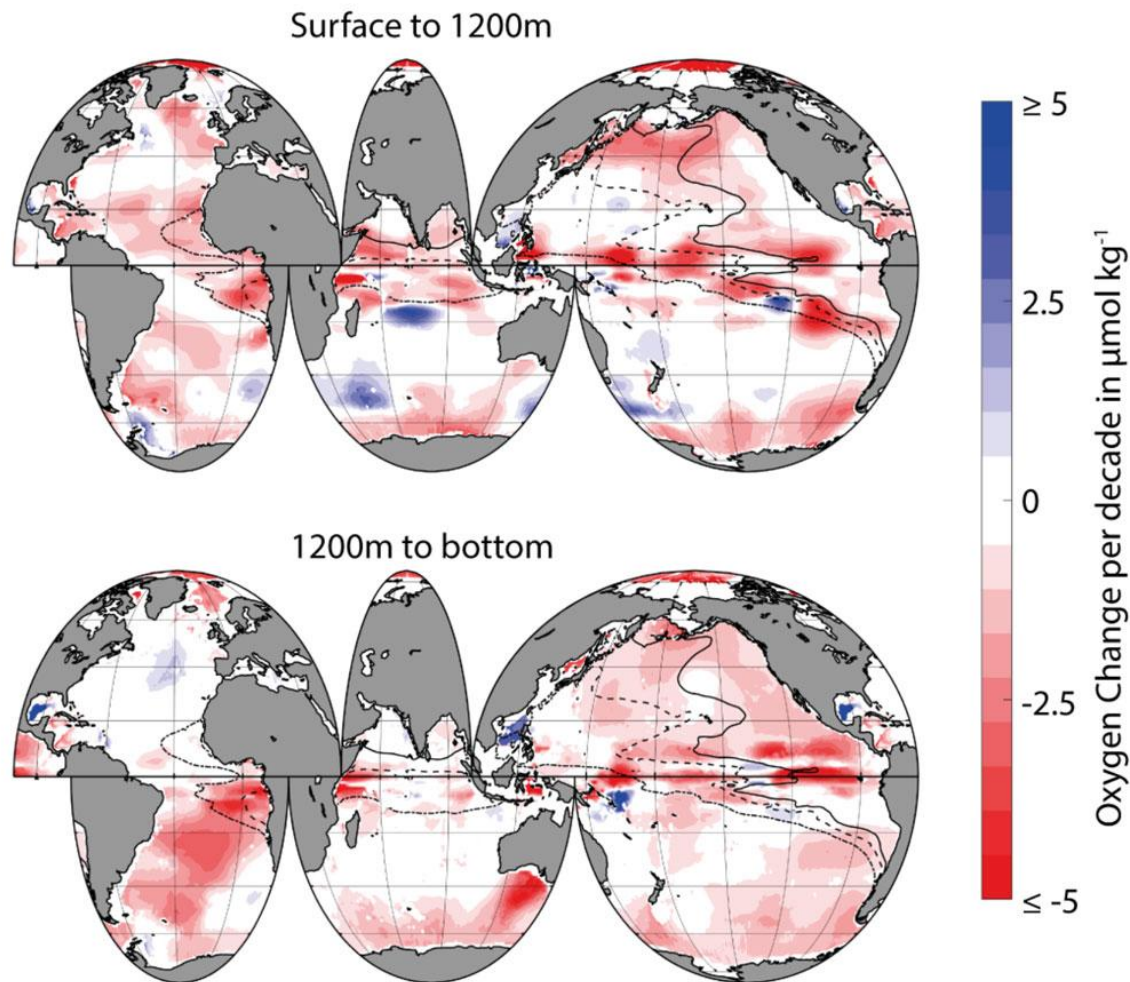
During the past 50 years, the area of low oxygen water in the open ocean has increased by 4.5 million km<sup>2</sup>.<sup>1</sup> The world's oceans are now losing approximately 1 gigaton of oxygen each year (Keeling and Garcia 2002).

The Baltic Sea has the largest coastal water hypoxic zone. In 2011 the area of water with dissolved oxygen concentrations <2 mg L<sup>-1</sup> was nearly 80,000 km<sup>2</sup>. (Castensen et al. 2014).



<sup>1</sup>The estimate is for 200 m – a slightly shallower depth than shown on this map.

# Globalno zagrijavanje i razine kisika u oceanima





## Utjecaji na morski život

Gubitak staništa za sésilne organizme i bentosku faunu.

Kompresija staništa za ribe i pokretne beskralješnjake.

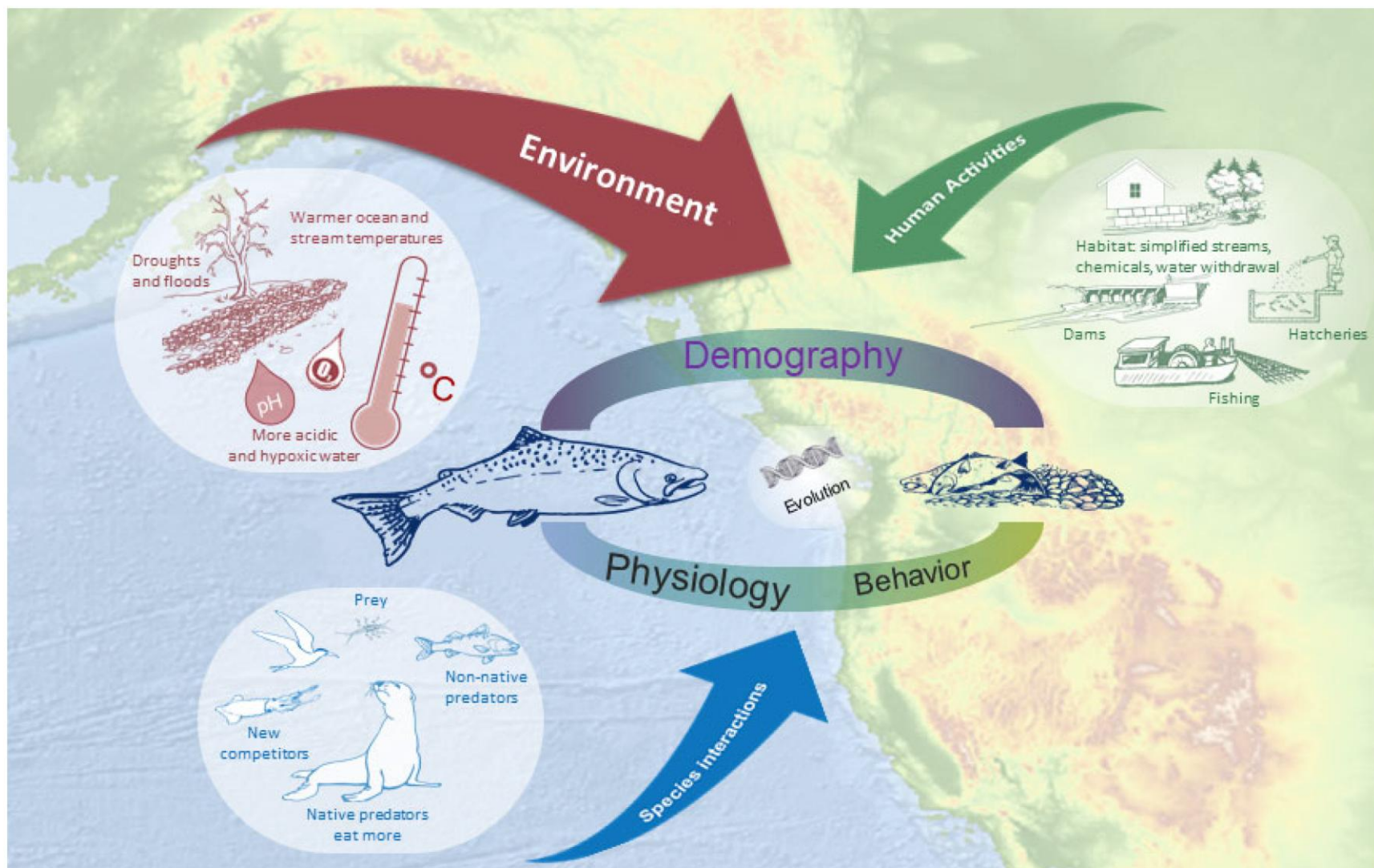
Povećani rizici od konkurencije i grabežljivosti.

Pad populacije komercijalno važnih vrsta.





# Višestruki biološki procesi oblikuju utjecaj klimatskih promjena na lososa (Crozier, Siegel, 2023).





## Strategije ublažavanja

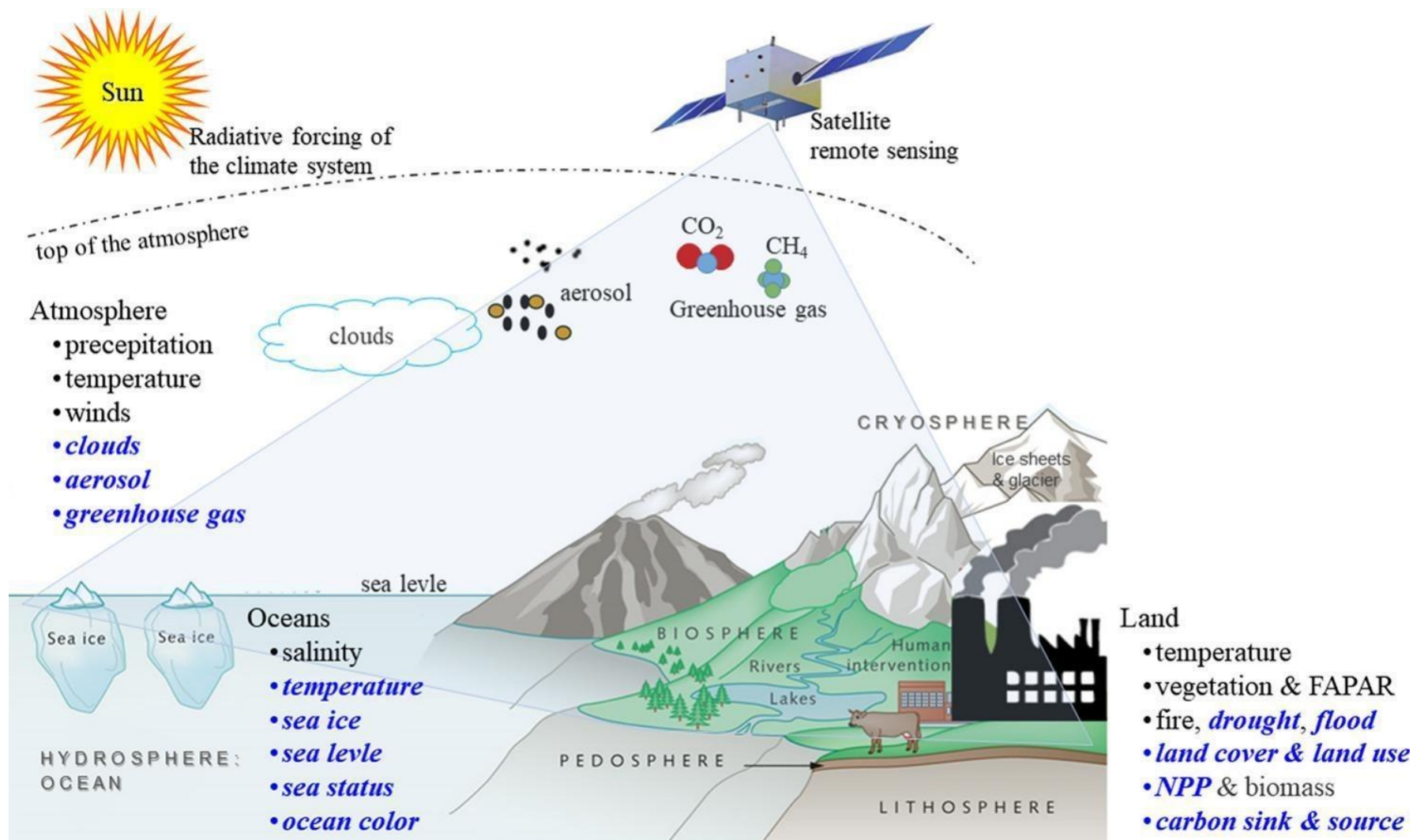
1. Poboljšano  
praćenje: daljinsko  
istraživanje za rano  
otkrivanje.

2. Upravljanje  
hranjivim tvarima:  
Smanjenje  
poljoprivrednog  
otjecanja.

3. Sustavi  
oksigenacije:  
Prozračivanje i  
ubrizgavanje kisika u  
akvakulturi.

4. Ublažavanje  
klimatskih promjena:  
Smanjenje emisije  
ugljika u borbi protiv  
zagrijavanja.

# Pregled klimatskog sustava s tipičnim varijablama istraživanja (Zhao et al., 2023)





## 1.2. Rast temperature, metaboličke i promjene rasta

### Utjecaj viših temperatura:

- Povećava brzinu metabolizma u vodenim organizmima.
- Povećava potrošnju kisika kako bi zadovoljio energetske potrebe.
- Hipoksija ovisna o temperaturi:
- Dostupnost kisika smanjuje se s porastom temperatura.
- Ograničava aerobni kapacitet, rast i reprodukciju (Seibel, 2024).

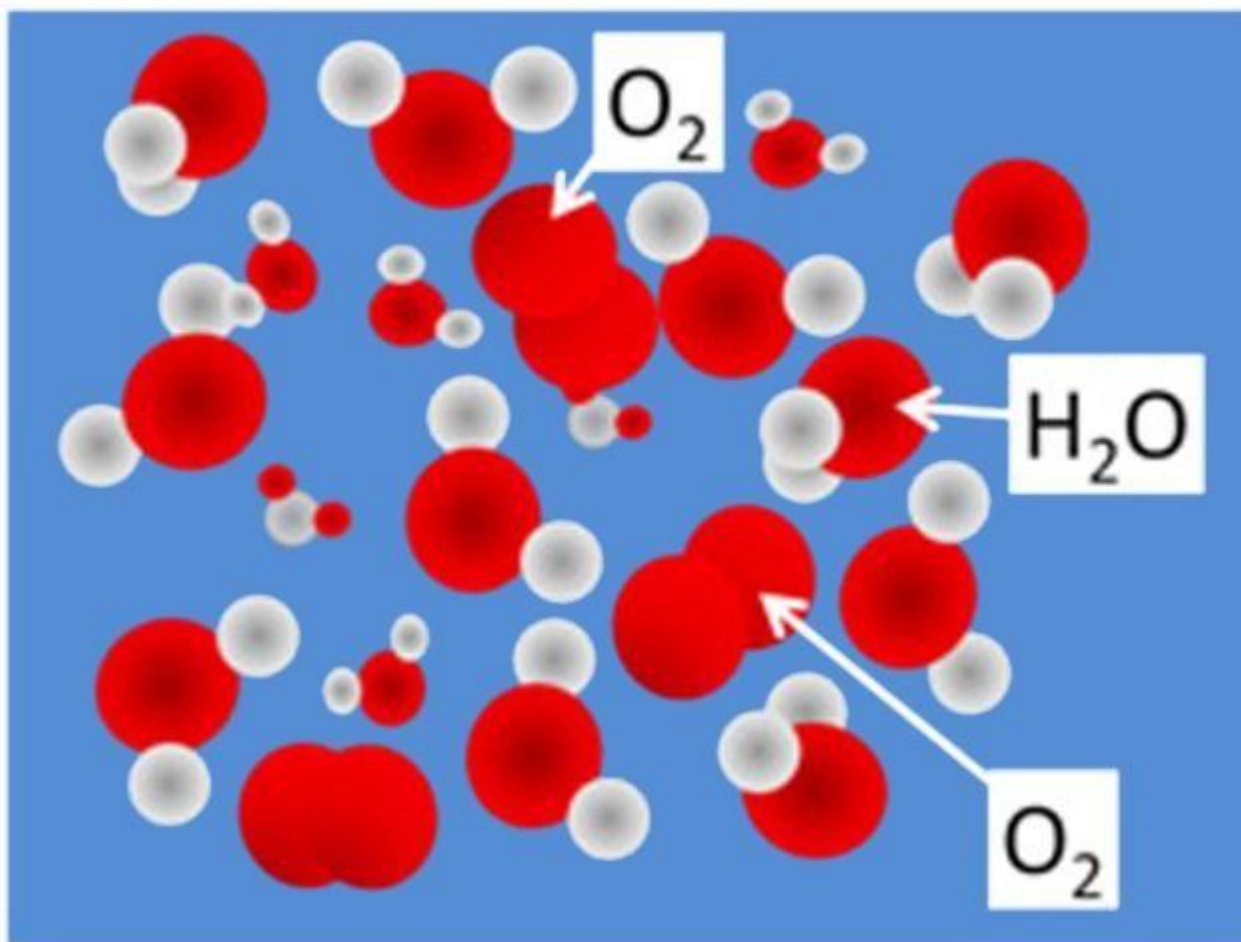
### Nalazi metaboličkog indeksa:

- Nedovoljna opskrba kisikom na višim temperaturama ograničava fiziološke procese (Deutsch i sur., 2020).

### Ranjivosti riba:

- Povišene stope metabolizma zahtijevaju više kisika, što je izazovno u toplim okruženjima s niskim udjelom kisika.
- Utječe na rast i preživljavanje, posebno u plitkim ili slojevitim vodama (Okon i sur., 2024).





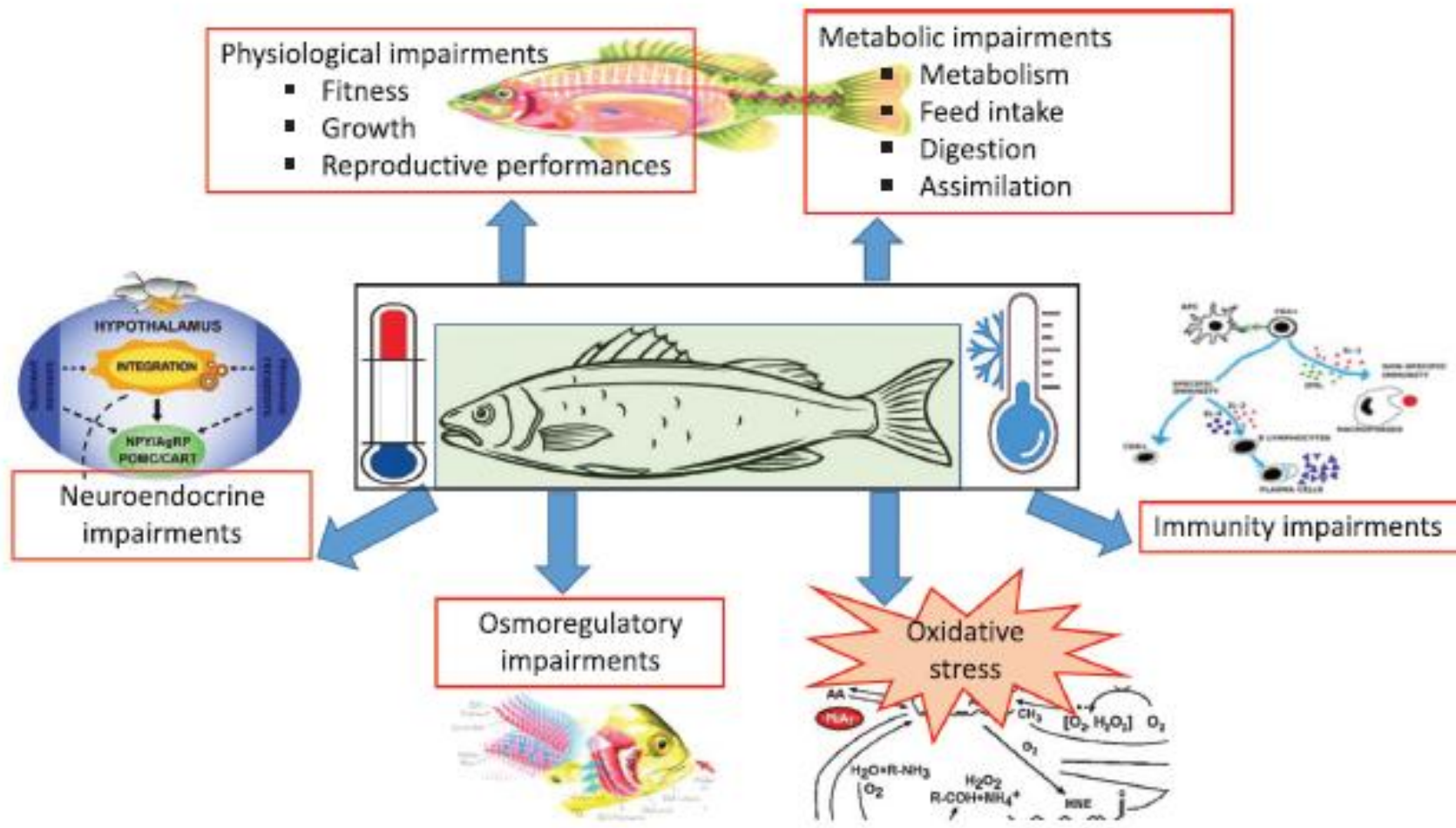
Molekularni prikaz otopljenog kisika koji zauzima prostore između molekula vode(Wilson, 2019)



# Izazovi rasta i reprodukcije

- Učinci toplijih voda:
  - Dovodi do ranijeg sazrijevanja, ali kraćeg životnog vijeka kod riba.
  - Narušava dinamiku populacije i ravnotežu ekosustava(Liu i sur., 2024).
- Reproductivni učinci:
  - Narušena kvaliteta spolnih stanica i smanjen uspjeh mriješta.
    - Vrste sjeverozapadnog Pacifika promijenile su reproduktivne strategije zbog toplinskih pomaka(Liu i sur., 2024).
- Širi učinci ekosustava:
  - Kaskadni utjecaji na hranidbene mreže i kruženje hranjivih tvari.
  - Povećana osjetljivost na patogene i bolesti(Okon i sur., 2024).

# Utjecaji temperaturnog stresa kod riba (Islam i sur., 2021.)





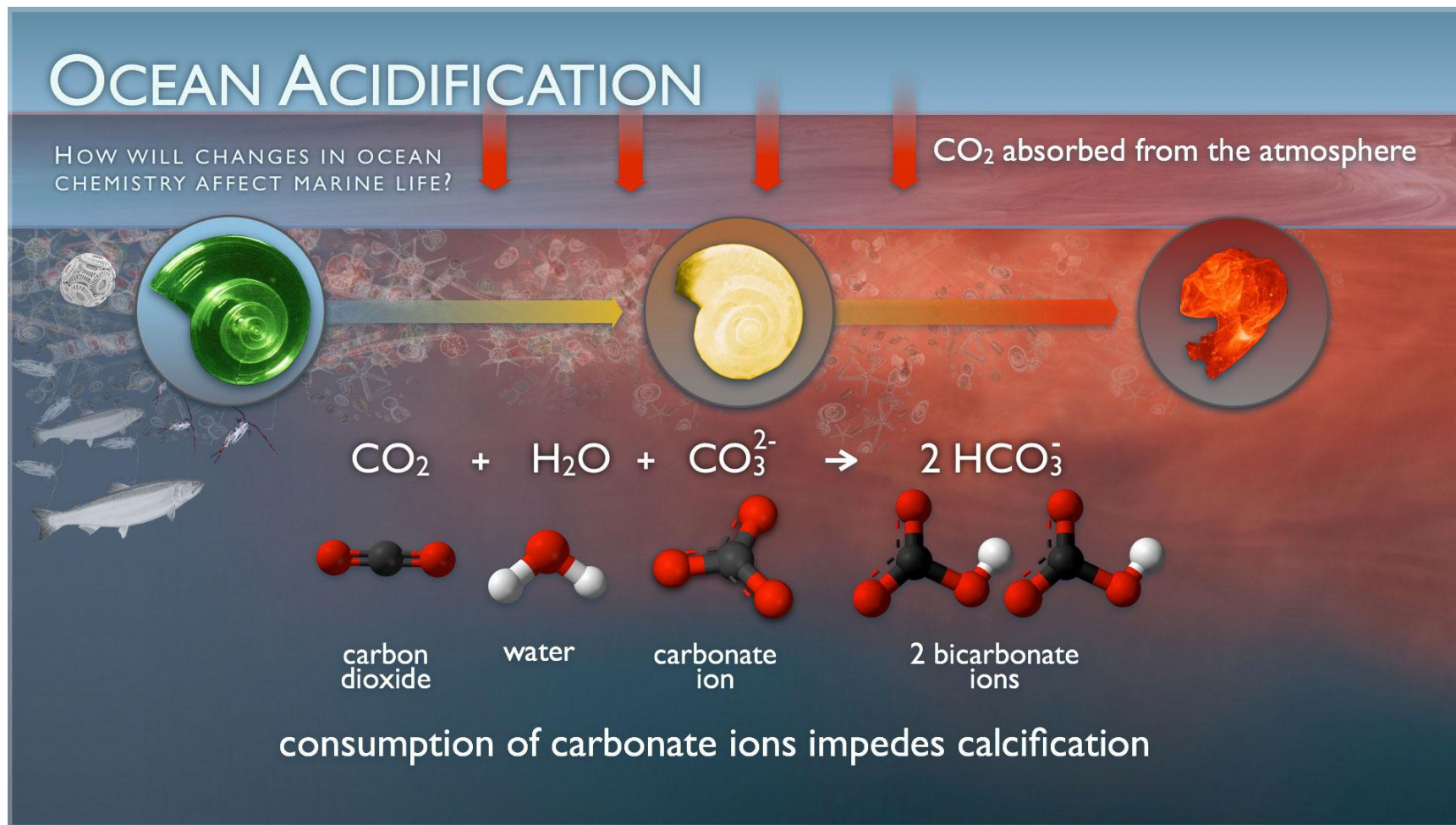
## 1.3. Zakiseljavanje oceana

- Razine pH i zakiseljavanje oceana:
  - Apsorpcija CO<sub>2</sub> u oceanima smanjuje razinu pH, povećavajući koncentraciju vodikovih iona.
  - pH površinskog oceana smanjio se za ~0,1 jedinicu od predindustrijske ere (Duarte i sur., 2022.).
  - Smanjena dostupnost karbonatnih iona utječe na kalcificirajuće organizme (npr. školjkaše, koralje).
- Utjecaji na morski život:
  - Kalcificirajući organizmi:
    - Smanjeno stvaranje ljuske, povećana smrtnost (Andreyeva i sur., 2024).
  - Vrste koje ne kalcificiraju:
    - Promijenjene senzorne funkcije i ponašanje (Grabba i sur., 2024).





# Zakiseljavanje oceana (NOAA, 2025.)



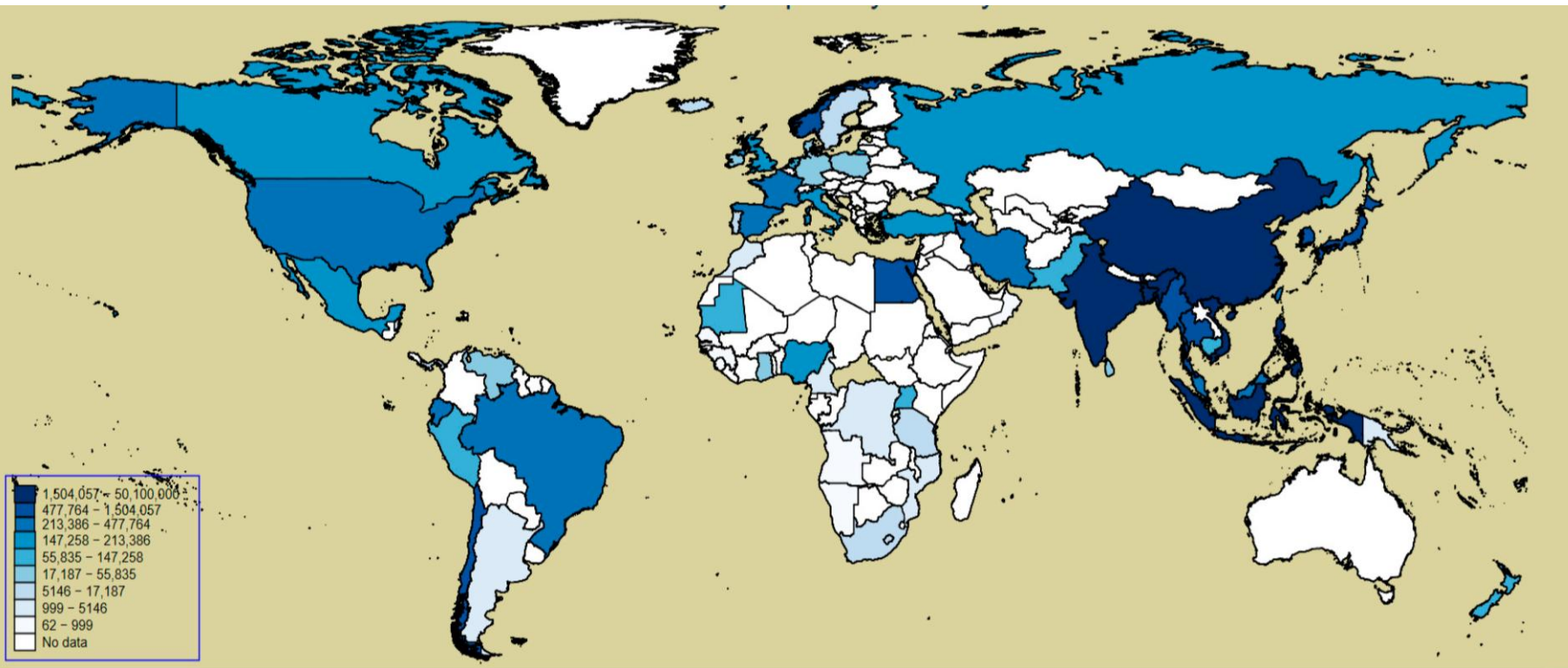


# Ekonomске i ekološke posljedice

- Ekonomski učinci:
  - Izazovi za ribolov školjkaša i akvakulturu.
    - Gubici ribarstva u Ujedinjenoj Kraljevini predviđaju se na 14 % – 28 % u scenarijima s visokim emisijama (Mangi i sur., 2018.).
- Ekološki poremećaji:
  - Smanjene populacije kalcificirajućih organizama utječu na dinamiku grabežljivca i plijena.
  - Multitrofična akvakultura kao strategija ublažavanja (Hamilton i sur., 2022).



# Zemljopisne lokacije globalnih rezultata ribarstva od 2001. do 2020. (Pham i sur., 2023.)

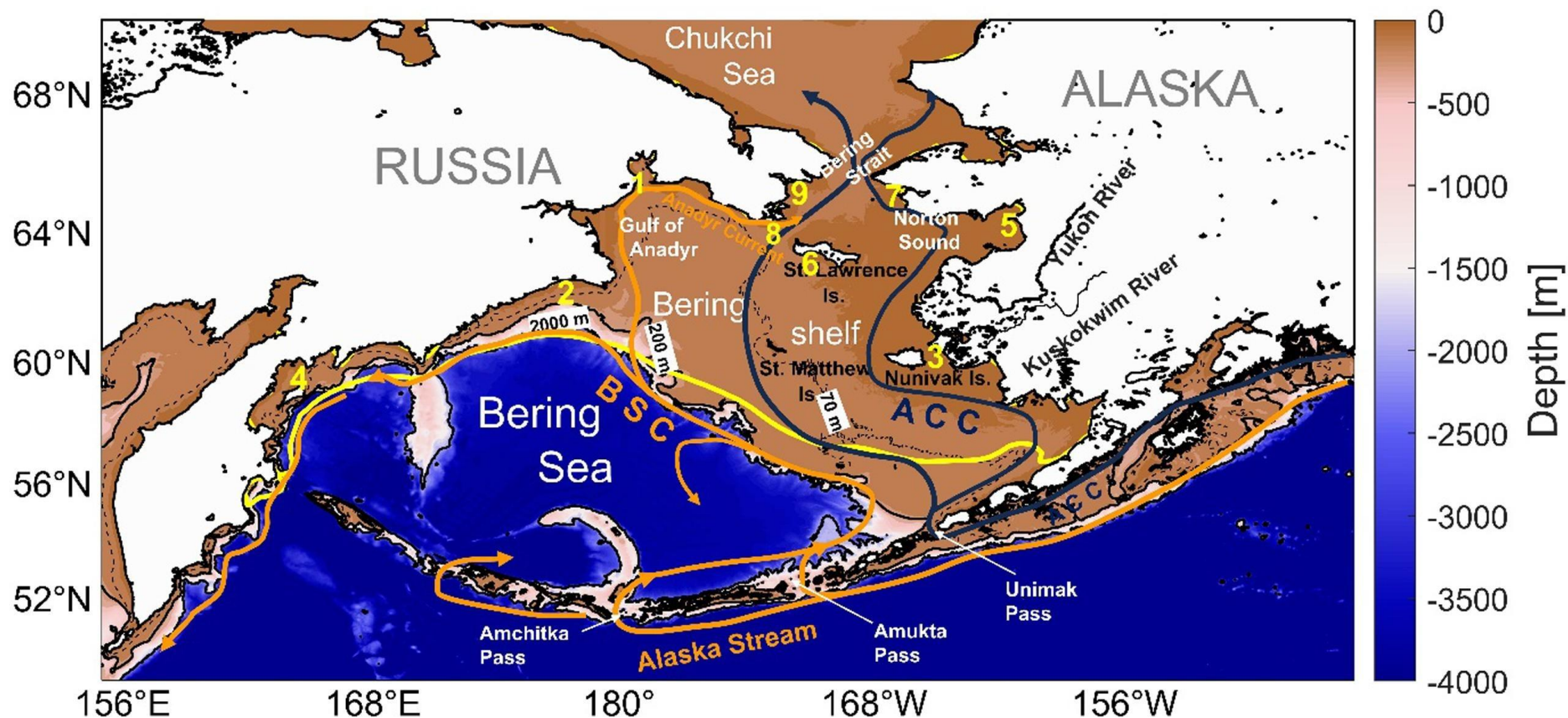






## 1.4. Promjene u salinitetu

- Mehanizmi koji pokreću promjene saliniteta:
  - Slatkovodni priljevi iz topljenja ledenjaka, oborina i riječnih ispuštanja.
- Sjeverni zaljev Aljaske pod utjecajem ledenjačkih voda (Reister i sur., 2024.).
- Beringovo more:
  - Smanjeni morski led povećava količinu otopljene vode, slabi stratifikaciju i mijenja cikluse hranjivih tvari (Mensah i sur., 2025.).
- Utjecaji na morske organizme i organizme estuarija:
  - Ometa osmoregulaciju, rast i reprodukciju.
  - Zaljev Chesapeake:
    - Promjene saliniteta smanjuju raznolikost vrsta i mijenjaju sastav zajednice (Zhang i sur., 2024).

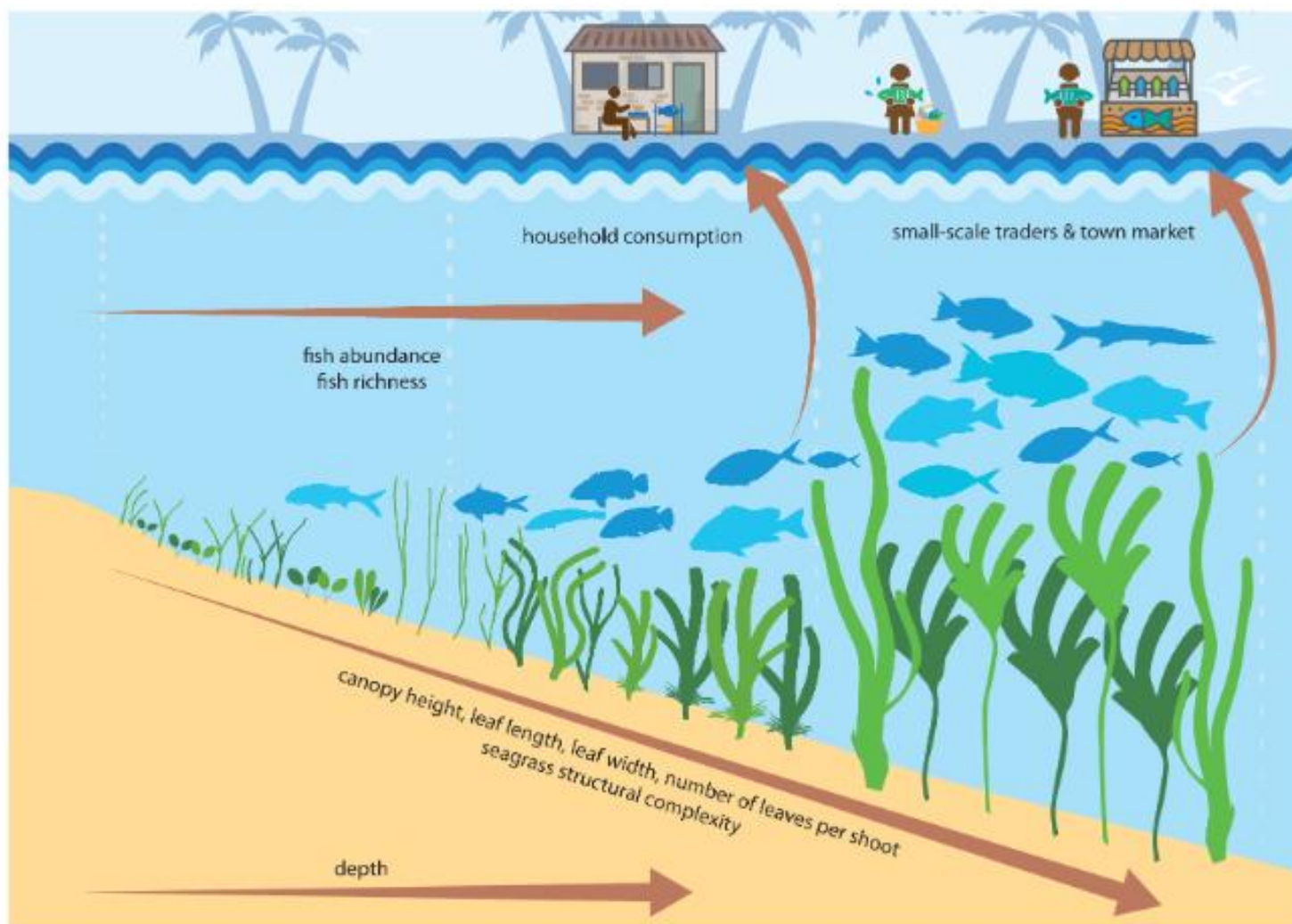


## Pregled Beringovog mora: Batimetrija i sezonska dinamika leda (Mensah i sur., 2024.)



# Strategije ublažavanja i izgledi za budućnost

- Ublažavanje temperature i saliniteta:
  - Obnova priobalne vegetacije radi smanjenja toplinskog opterećenje.
  - Poboljšanje protoka vode u slojevitim sustavima radi poboljšanja raspodjele kisika.
- Strategije zakiseljavanja oceana:
  - Obnova morske trave i mangrova radi apsorpcije CO<sub>2</sub>.
  - Implementacija tehnike puferiranja pH u akvakulturi (Hamilton i sur., 2022).
- Širi naponi u području klime:
  - Smanjenje emisija stakleničkih plinova radi rješavanja temeljnih uzroka klimatskih promjena.
  - Unaprjeđenje globalnih sustava praćenja i planova prilagodbi zajednice.



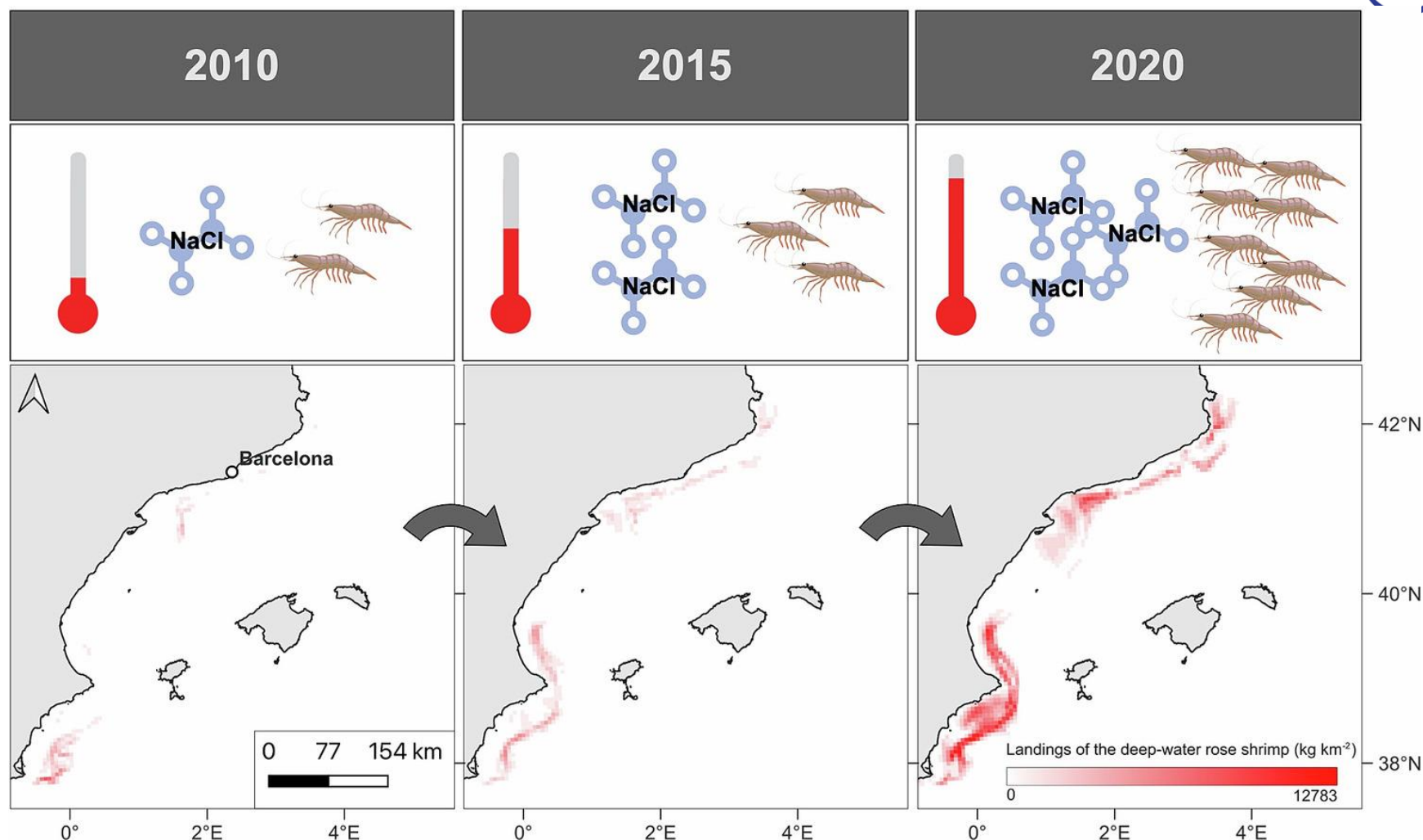
## Konceptualni model: struktura morske cvjetnice i društveno-ekološki ishodi (Jones i sur., 2021.)





## 1.5. Promjene u salinitetu oceanskih voda i njegov utjecaj na rasprostranjenost morskih vrsta

- Mehanizmi distribucijskih promjena izazvanih salinitetom:
  - Priljevi slatke vode, otapanje ledenjaka i promjenjivi obrasci oborina.
    - Hipersalinitet u ušćima zapadne Australije zbog smanjenog dotoka slatke vode (Guimbeau i sur., 2024.).
  - Eurihalinke vrste uspijevaju u fluktuirajućem salinitetu, dok stenohalinke vrste opadaju.
  - Pad populacije događa se kada salinitet odstupa od optimalnih razina (Rahman i Hung, 2024).
- Utjecaji na rasprostranjenost vrsta i akvakulturu:
  - *Parapenaeus longirostris* raspon pomaka zbog zagrijavanja i salinizacije (Mingote i sur., 2024.).
  - Smanjena pokretljivost spermija kod osjetljivih vrsta utječe na produktivnost u akvakulturi (Rahman i Hung, 2024).



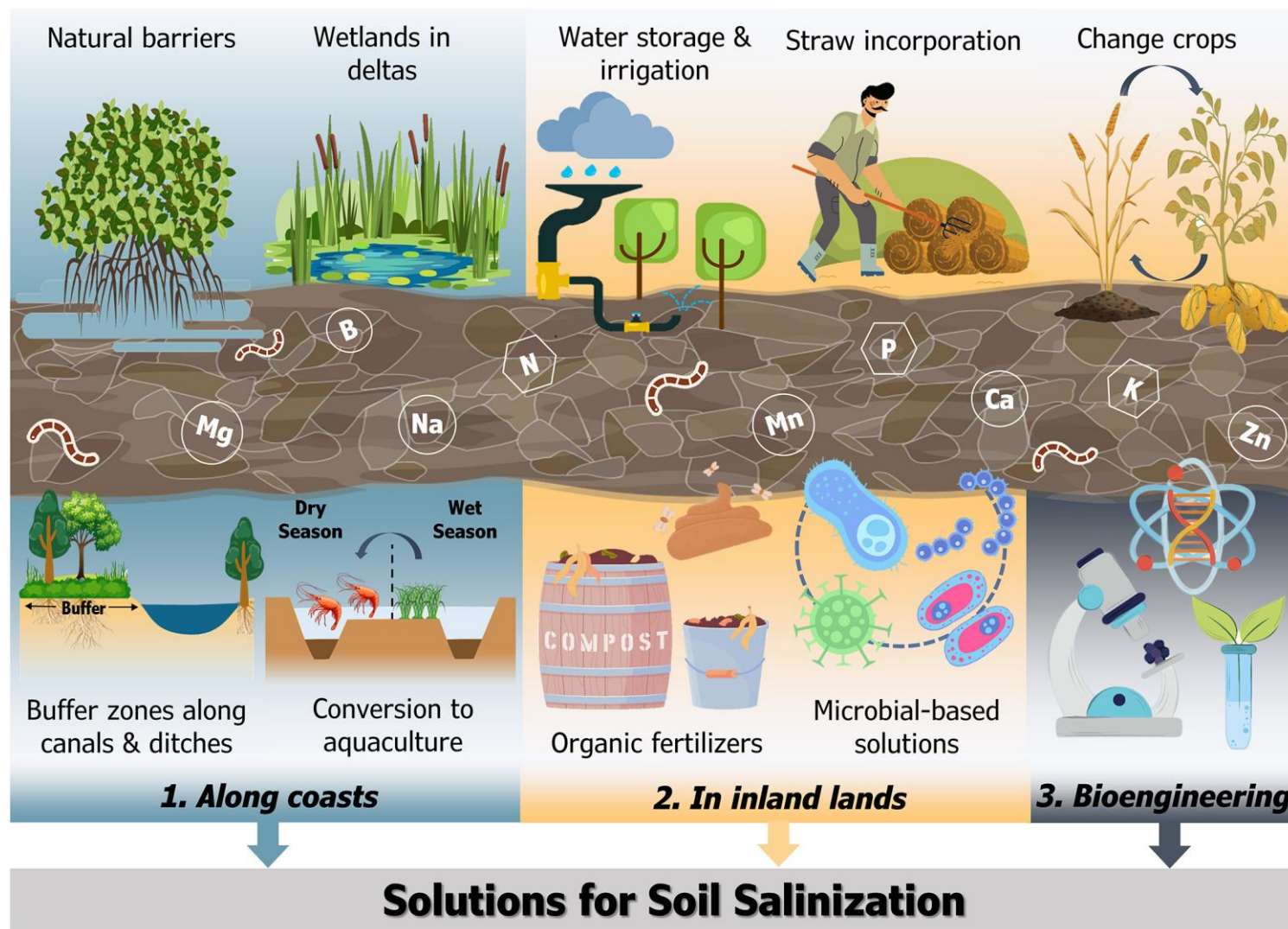
**Od 2010. do 2020.: promjene u okolišu i širenje dubinskih kozica (Mingote i sur., 2023.)**



# Šire ekološke i socioekonomske implikacije

- Usluge ekosustava:
  - Promjene sastava zajednice utječu na kruženje hranjivih tvari i stabilnost hranidbene mreže (Hoeksema i sur., 2023).
    - Smanjena biološka raznolikost u hipersalinskim estuarijima utječe na funkcioniranje ekosustava.
- Ekonomski učinci:
  - Ribarstvo se suočava s neizvjesnošću zbog migracije ciljnih populacija.
    - Promjene u dostupnosti dubinskih kozica na Mediteranu (Mingote i sur., 2024.).
- Strategije ublažavanja i budući smjerovi:
  - Smanjenje emisija stakleničkih plinova radi stabilizacije okolišnih uvjeta.
  - Obnova obalne vegetacije na tampon promjene saliniteta (Guimbeau i sur., 2024).
  - Upotreba recirkulacijskih sustava akvakulture (RAS) i selektivni uzgoj vrsta otpornih na sol.





Održiva rješenja zaslanjivanja tla u poljoprivredi (Tarolli i sur., 2024)



## 1.6. Opterećenje hranjivim tvarima i eutrofikacija

- Mehanizmi opterećenja hranjivim tvarima i eutrofikacije:
  - Izvori:
    - Otjecanje iz poljoprivrednih površina, komunalnih otpadnih voda i industrijskih otpadnih voda.
      - Sliv rijeke Mississippi doprinosi hipoksičnoj zoni Meksičkog zaljeva (Day i sur., 2024).
  - Klimatske promjene pojačavaju otjecanje hranjivih tvari kroz povećane oborine i ekstremne vremenske uvjete.
- Učinci eutrofikacije:
  - Ekološki učinci: Iscrpljivanje kisika prisiljava migraciju ili smrtnost vodenih vrsta.
    - Zaljev Chesapeake – pad populacije riba zbog hipoksije (Zhang i sur., 2024).
    - Štetno cvjetanje algi (HABs):
      - Proizvode toksine koji utječu na morski život i ljude.



# Strategije ublažavanja za opterećenje hranjivim tvarima i eutrofikaciju

## Održive poljoprivredne prakse:

- Obrezivanje pokrova,
- tampon zone,
- precizna gnojidba za smanjenje otjecanja.

## Upravljanje komunalnim otpadnim vodama:

- Napredne tehnologije obrade za uklanjanje hranjivih tvari prije ispuštanja.

## Prirodna rješenja:

- Obnova močvara i obalnih zona radi filtriranja hranjivih tvari i poboljšanja kvalitete vode.

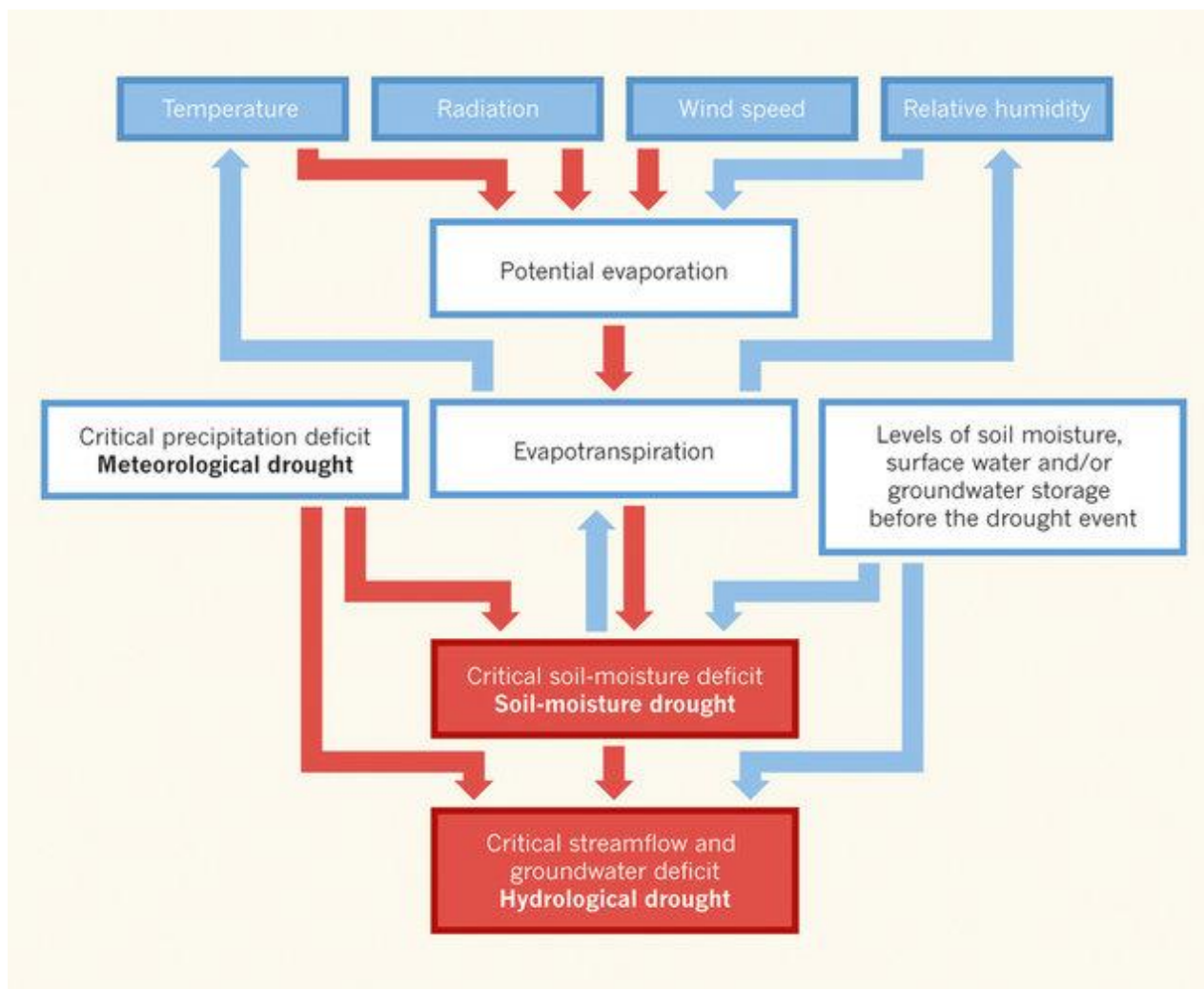
## Reforme javnog obrazovanja i politika:

- Propisi o upravljanju hranjivim tvarima i poticaji za održive prakse.
- Učinkovito upravljanje slivom u Meksičkom zaljevu (Day i sur., 2024).



## 1.7. Suše, nestašica i pogoršana kvaliteta vode

- Pokretači suša i nestašica vode:
  - Klimatske varijacije:
    - Smanjene oborina i porast temperatura pojačavaju evapotranspiraciju.
      - Saudijska Arabija - prekomjerno izvlačenje podzemnih voda iscrpljuje vodonosnike (DeNicola i sur., 2015).
  - Ljudske aktivnosti:
    - Neodrživo povlačenje vode i degradacija zemljišta pogoršavaju nestašicu (Zucca i sur., 2021.).
  - Utjecaj klimatskih promjena:
    - Mijenja obrasce oborina, povećavajući učestalost i ozbiljnost suša.
  - Zemlje GCC-a suočavaju se s hipersušnom klimom, brzom urbanizacijom i rastućom potražnjom za vodom (Moussa i sur., 2025).
  - Inovativne strategije:
    - Recikliranje i desalinizacija otpadnih voda ublažavaju nestašicu, ali ostaju energetske intenzivne.



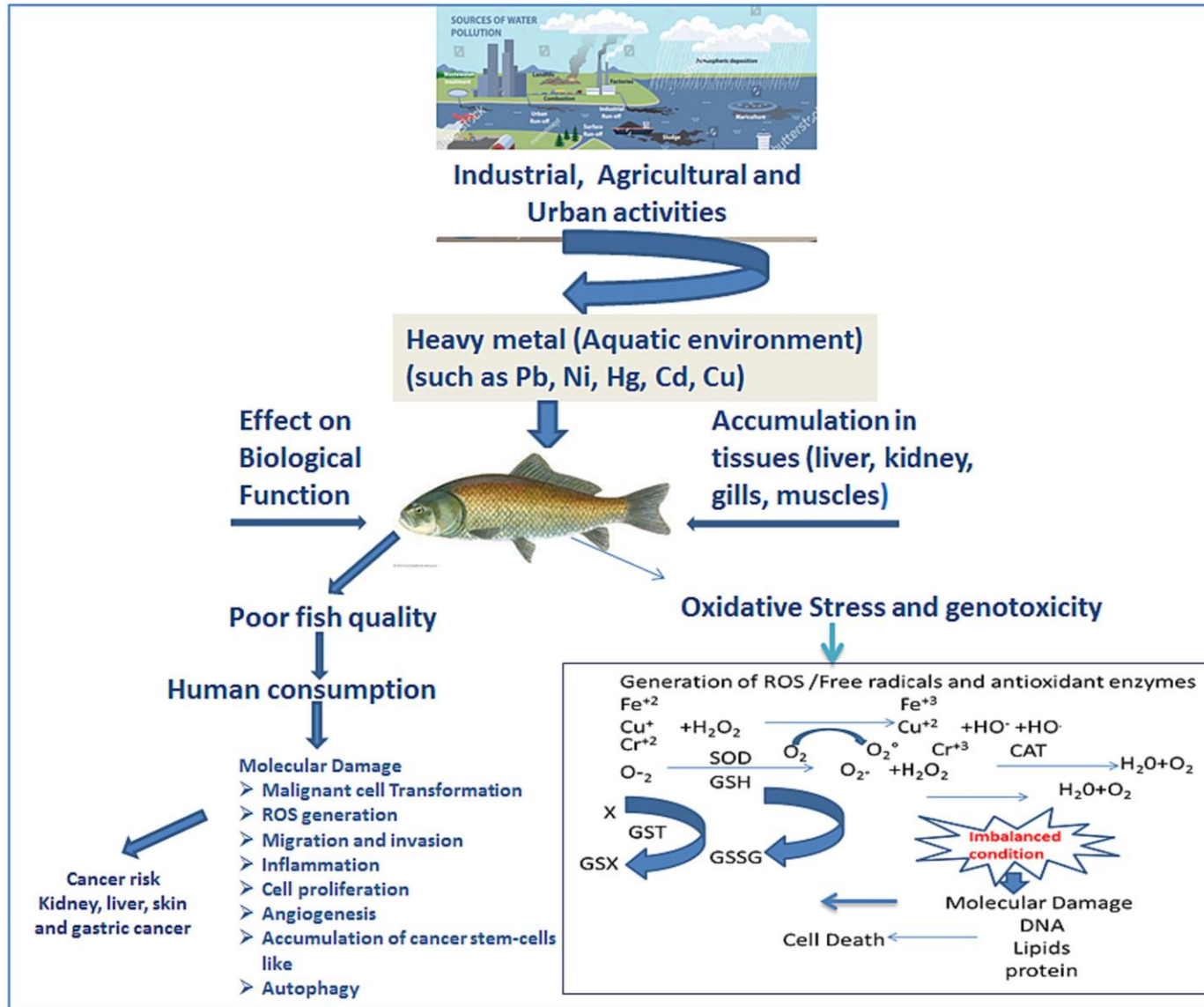
## Pokretači suše (Seneviratne, 2012)



# Utjecaji pogoršane kvalitete vode

- Izvori onečišćenja:
  - Poljoprivredno otjecanje, industrijska ispuštanja i gradske otpadne vode.
    - Opterećenje hranjivim tvarima dovodi do eutrofikacije i hipoksije, narušavajući ekosustave (Giri, 2021).
- Učinci klimatskih promjena:
  - Ekstremni vremenski uvjeti pogoršavaju kontaminaciju izvora slatke vode (DeNicola i sur., 2015).
- Socio-ekonomske posljedice:
  - Bolesti koje se prenose vodom od kontaminirane pitke vode utječu na zajednice s niskim prihodima.
  - U GCC-u: Smanjena poljoprivredna proizvodnja ugrožava sigurnost opskrbe hranom (Moussa i sur., 2025.).





## Indukcija oksidativnog oštećenja kod riba teškim metalima (Sanaa Abdulaziz Mustafa i sur., 2024)





# Strategije ublažavanja

## Održivo upravljanje vodama:

- Prikupljanje kišnice i učinkovito navodnjavanje smanjuju prekomjerno iskorištavanje (Moussa i sur., 2025).
- Obnavljanjem močvara filtriraju se onečišćujuće tvari i reguliraju hidrološki ciklusi (Zucca i sur., 2021.).

## Tehnološki napredak:

- Desalinizacija i pročišćavanje otpadnih voda nude rješenja za regije s nedostatkom vode.
- Naglasak na minimiziranju utjecaja na okoliš i poboljšanju pristupačnosti.

## Međunarodna suradnja:

- Razmjena znanja i izgradnja kapaciteta za rješavanje globalnih izazova u području vode (DeNicola i sur., 2015.).

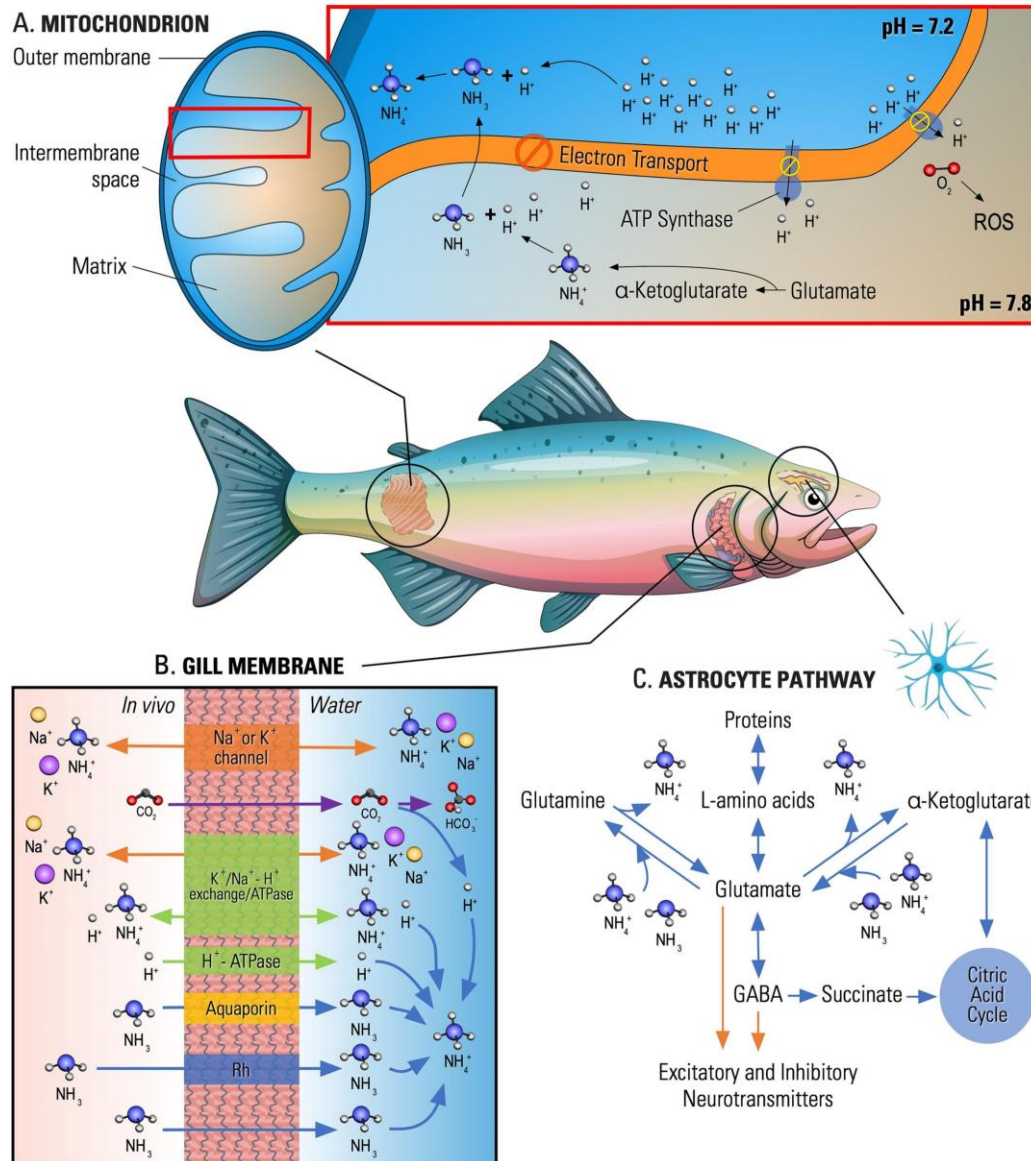


## 2. UTJECAJ GLOBALNOG ZATOPLJENJA NA RANJIVOST VRSTA U AKVAKULTURI



## Osjetljivost na temperaturu i ranjivost vrsta

- Vodene vrste oslanjaju se na stabilne temperature vode za rast, razmnožavanje i preživljavanje.
- Tropske vrste (kozice, tilapija) osjetljive su na temperaturne fluktuacije, narušavajući enzimske aktivnosti (Giri, 2021).
- Dugotrajno izlaganje neprikladnim temperaturama dovodi do smrtnosti izazvane stresom i nižih prinosa akvakulture (DeNicola i sur., 2015).
- Arapski poluotok suočava se s porastom temperature vode, smanjujući razinu otopljenog kisika i povećavajući toksičnost amonijaka (Moussa i sur., 2025).
- Mjere prilagodbe:
  - Selektivni uzgoj vrsta otpornih na temperaturu i sustava akvakulture s kontroliranom temperaturom.



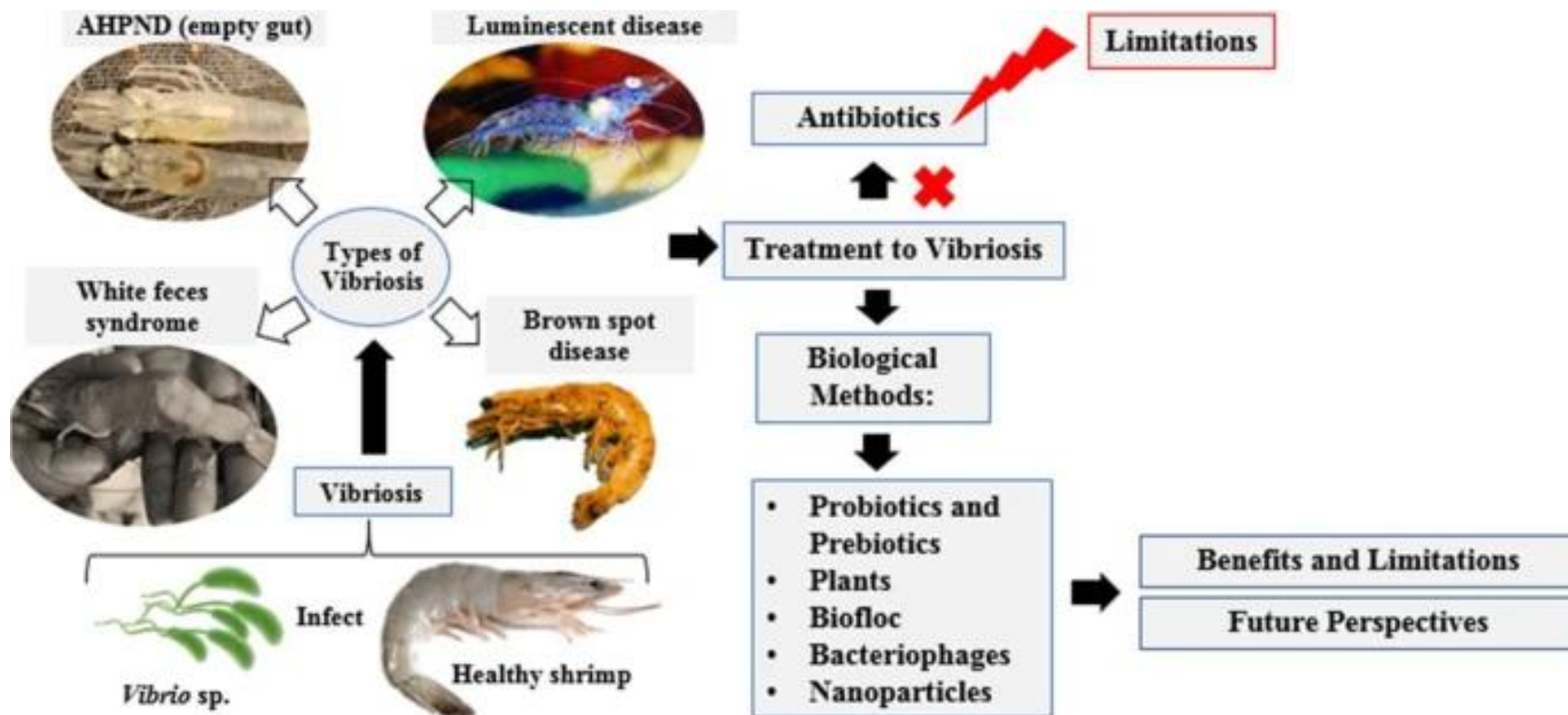
# Fiziologija amonijaka i putevi toksičnosti amonijaka kod riba (Edwards i sur.,2023)



## Proliferacija bolesti i parazita

- Toplije vode ubrzavaju životni ciklus patogena i parazita.
  - *Vibrio* spp. i izbijanja morskih ušiju na uzgajalištima kozica i lososa (Zucca i sur., 2021).
    - Dokumentirano u jugoistočnoj Aziji (uzgajališta kozica) i sjevernom Atlantiku (uzgajališta lososa).
- Klimatske promjene u kemiji vode (zakiseljavanje, promjene saliniteta) slabe otpornost domaćina (Giri, 2021).
- Strategije:
  - Poboľjšani sustavi praćenja,
  - biosigurnosne mjere,
  - Istraživanje vrsta akvakulture otpornih na bolesti.





## Vibrioza kozica: simptomi, izazovi liječenja i mogućnosti biološke kontrole (Nurul Ashikin Elias i sur., 2023)

The Digital Blue Carrier for a Post-Carbon Future - Curriculum Innovations in Aquaculture [DiBluCa]"

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247



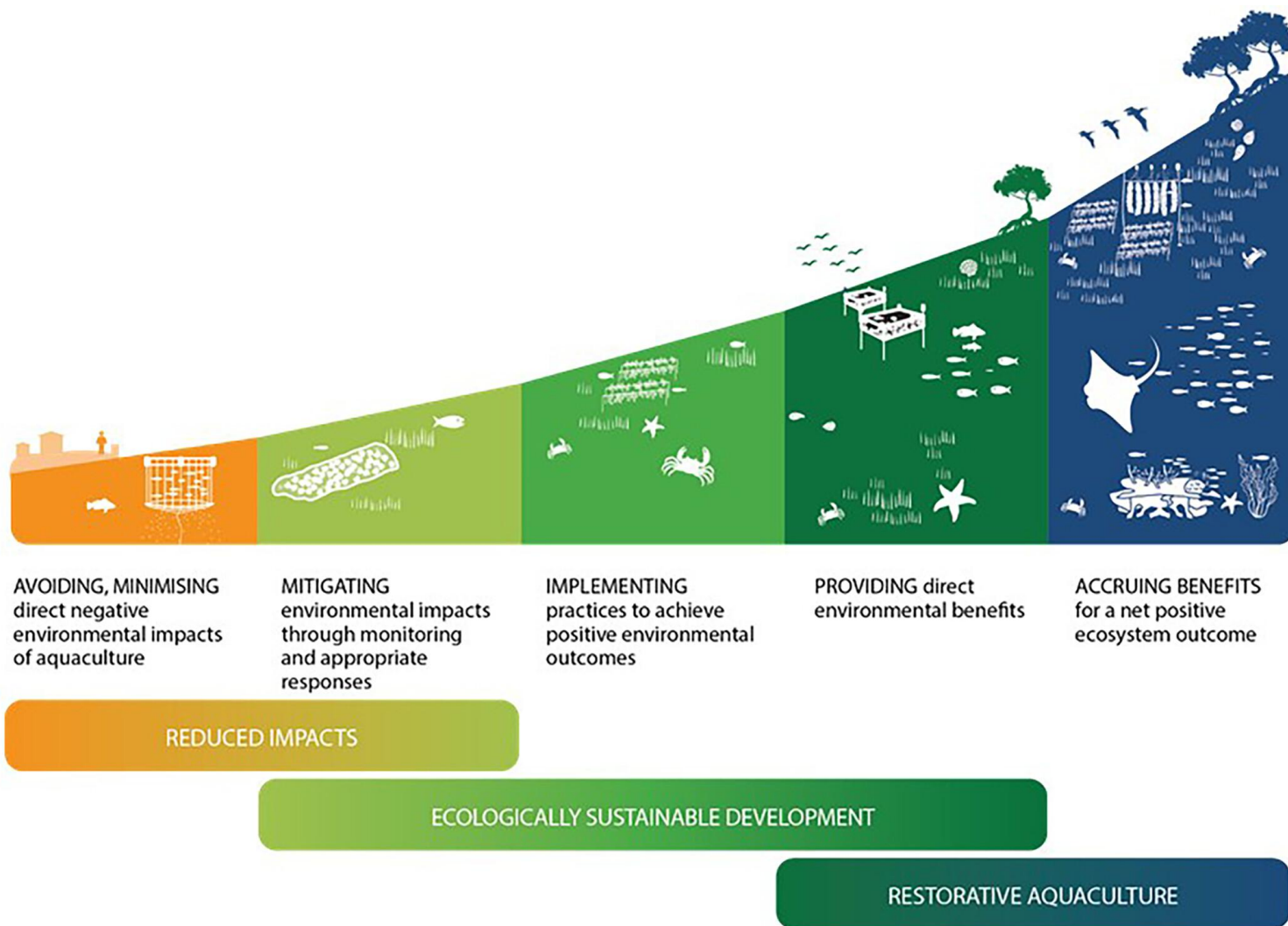
# Utjecaj vibrioze na akvakulturu (Nurul Ashikin Elias i sur., 2023)

Zemlja	Vibrio sp.	Gubitak i utjecaj
Kina	<i>V. fluvialis</i>	> US\$ 120 M godišnji gubici između 1990–1992
Indija	<i>V. harveyi</i> , <i>V. parahaemolyticus</i> , <i>V. alginolyticus</i> , <i>V. anguillarum</i>	Slab rast, crvena promjena boje i smrtnost <i>Penaeus monodon</i>
Tajland	<i>V. harveyi</i>	Masovna smrtnost <i>P. monodon</i>
Japan	<i>V. carchariae</i>	Masovna smrtnost japanskog abalona ( <i>Haliotis diversicolor</i> )
Indonesija	<i>Luminescent Vibrio</i>	> US\$ 100 M gubitka u mrijestilištu kozica
Italija	<i>V. harveyi</i> , <i>V. ordalii</i> , <i>V. salmonicida</i> , <i>V. vulnificus</i>	Masovna smrtnost na farmi školjkaša koja se nalazi u Mar Piccolu u Tarantu
Meksiko	<i>V. parahaemolyticus</i>	Akutna bolest nekroze hepatopankreasa (AHPND) kod <i>L. vannamei</i>
Egipat	<i>V. anguillarum</i> , <i>V. alginolyticus</i> , <i>V. ordalii</i> , <i>V. harveyi</i>	Crvene mrlje na trbušnim i bočnim područjima, nekroza i hemoragijska područja



# Strategije ublažavanja i prilagodbe

- Tehnološke inovacije:
  - Recirkulacijski sustavi akvakulture (RAS) i ribnjaci s kontroliranom temperaturom ublažavaju toplinski stres (Moussa i sur., 2025.).
  - Programi cijepljenja i napredne tehnologije otkrivanja bolesti upravljaju rizicima od patogena.
- Očuvanje okoliša:
  - Obnova mangrova i močvara radi ublažavanja temperature fluktuacije i filtracije patogena.
- Suradnja:
  - Poticanje međunarodne suradnje u praksama akvakulture otpornima na klimatske promjene.
  - Promicanje razmjene znanja i izgradnje kapaciteta.



## Globalna načela za restorativnu akvakulturu za poticanje praksi akvakulture koje su korisne za okoliš (Alleway i sur., 2023)

"The Digital Blue Carrier for a Post-Carbon Future - Curriculum Innovations in Aquaculture [DiBluCa]"

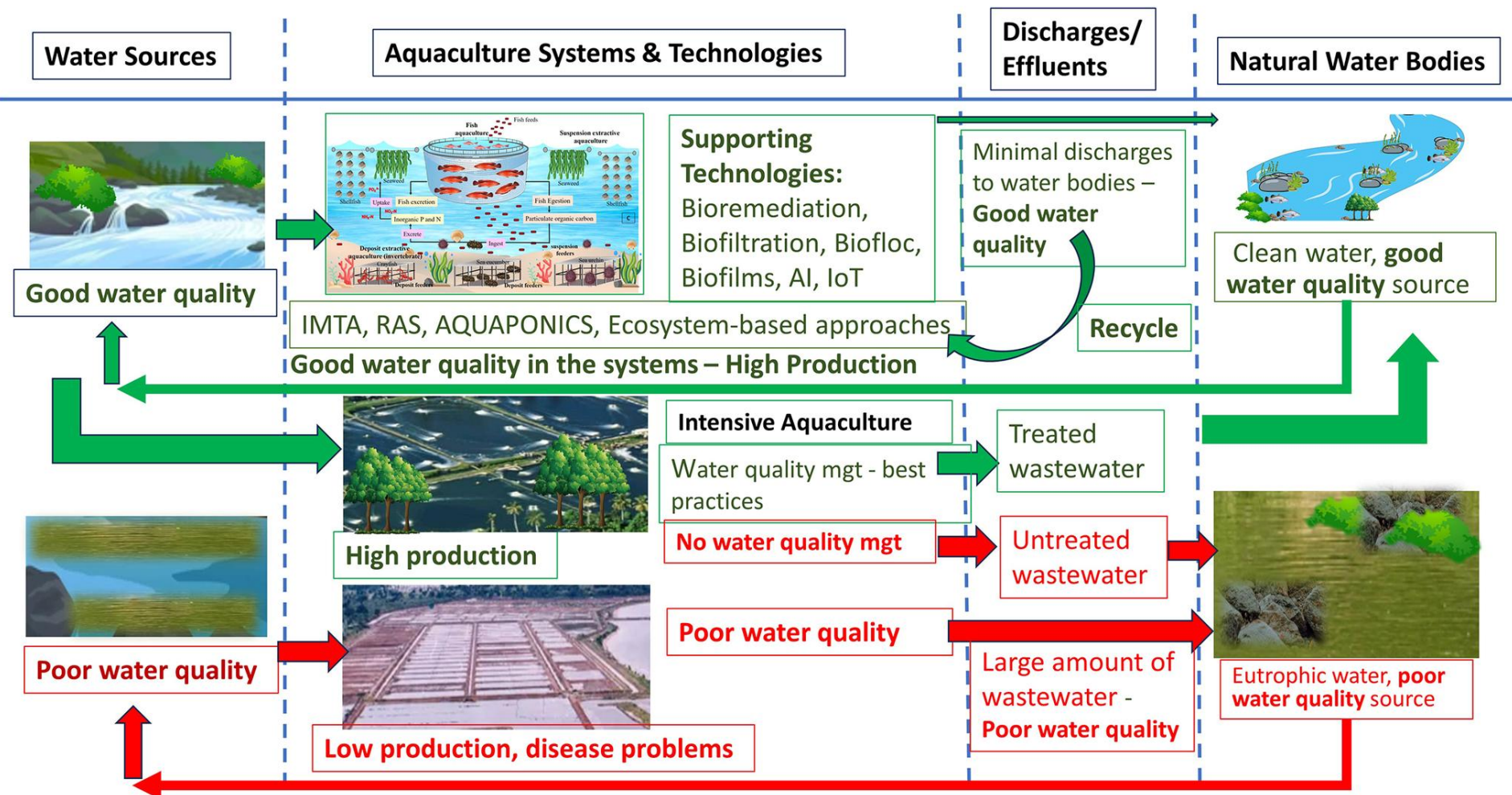
2023-1-LT01-KA220-HED-000154247



## 2.1. Ekonomske posljedice utjecaja globalnog zatopljenja na akvakulturu

- Smanjeni prinosi morskih plodova i ribe:
  - - Porast temperature mora i zakiseljavanje narušavaju vodena staništa.
  - - Smanjena dostupnost kisika i smanjena kalcifikacija školjkaša utječu na profitabilnost akvakulture (Nienhuis i sur.,2010).
- Pad kvalitete vode i izbijanja bolesti:
  - - Štetno cvjetanje algi (HAB) iscrpljuje kisik i oslobađa toksine.
    - Imunitet kamenica oslabljen u uvjetima zagrijavanja (Neokye et al., 2024).
- Troškovi prilagodbe:
  - Potrebna znatna ulaganja za sustave s kontroliranom temperaturom i vrste otporne na bolesti.
  - Geografsko premještanje operacija akvakulture povećava troškove (Mdoe i sur.,2025).





## Upravljanje kvalitetom vode u akvakulturi (Yusoff i sur., 2024.)



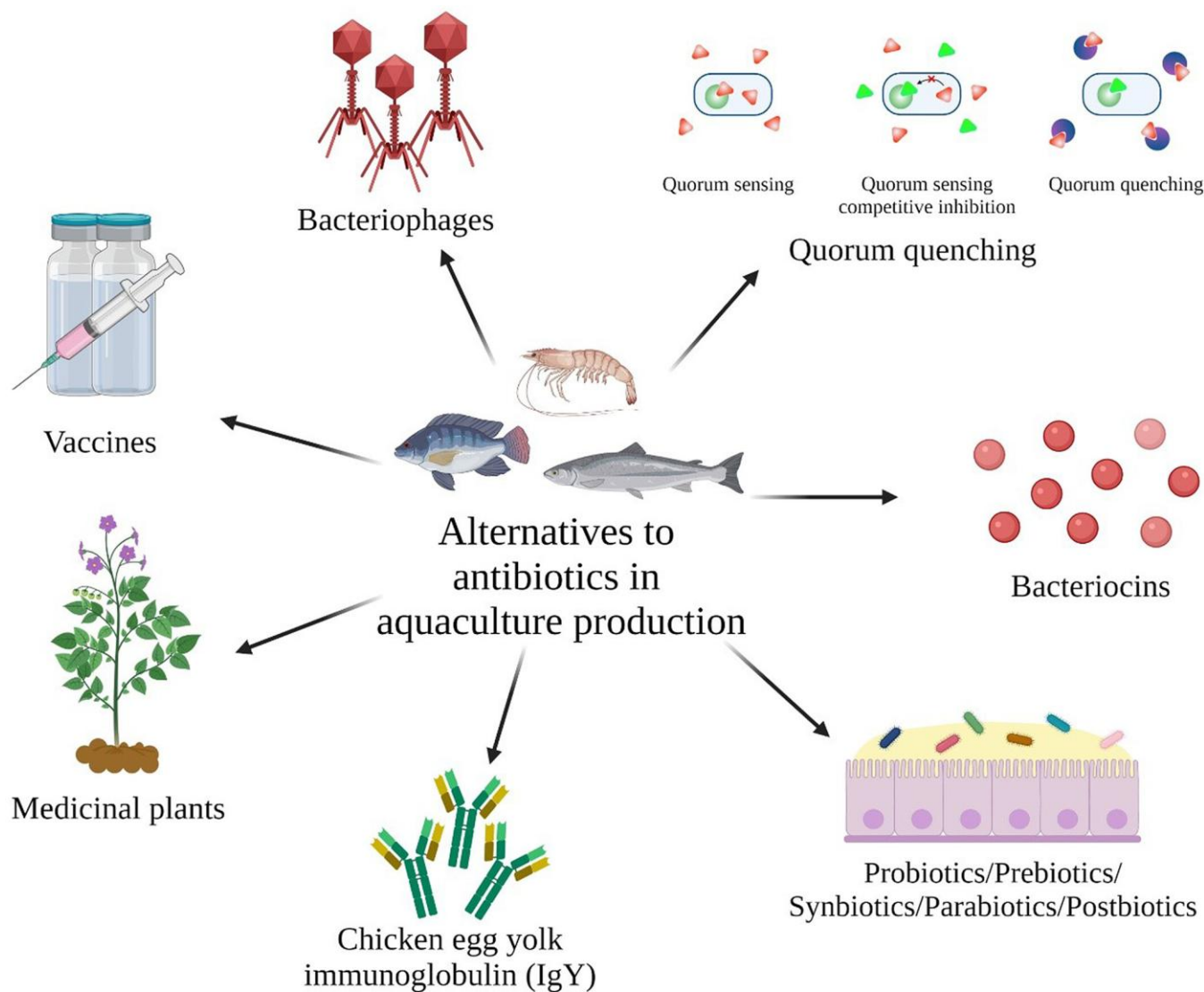
## 2.2. Utjecaj globalnog zatopljenja na geografske promjene u akvakulturi

- Zone mijenjanja stupnjeva prijenosa:
  - Rastuće temperature guraju zone akvakulture prema polu.
  - Tropikalizacija morskog okoliša mijenja strukture ekosustava (Zarzyczny et al., 2024).
- Invazivne vrste:
  - Proliferacija invazivnih vrsta narušava ekosustave i operacije akvakulture.
    - Tropske vrste koje se sele u umjerene zone (Woods i sur., 2016).
- Strategije prilagodbe:
  - Integrirana multitrofična akvakultura (IMTA) povećava otpornost (Mdoe i sur., 2025).
  - Genetska poboljšanja za bolesti i toleranciju na temperaturu (Ross i sur., 2023).
  - Sustavi praćenja i ranog upozoravanja pomoću prediktivnog modeliranja.

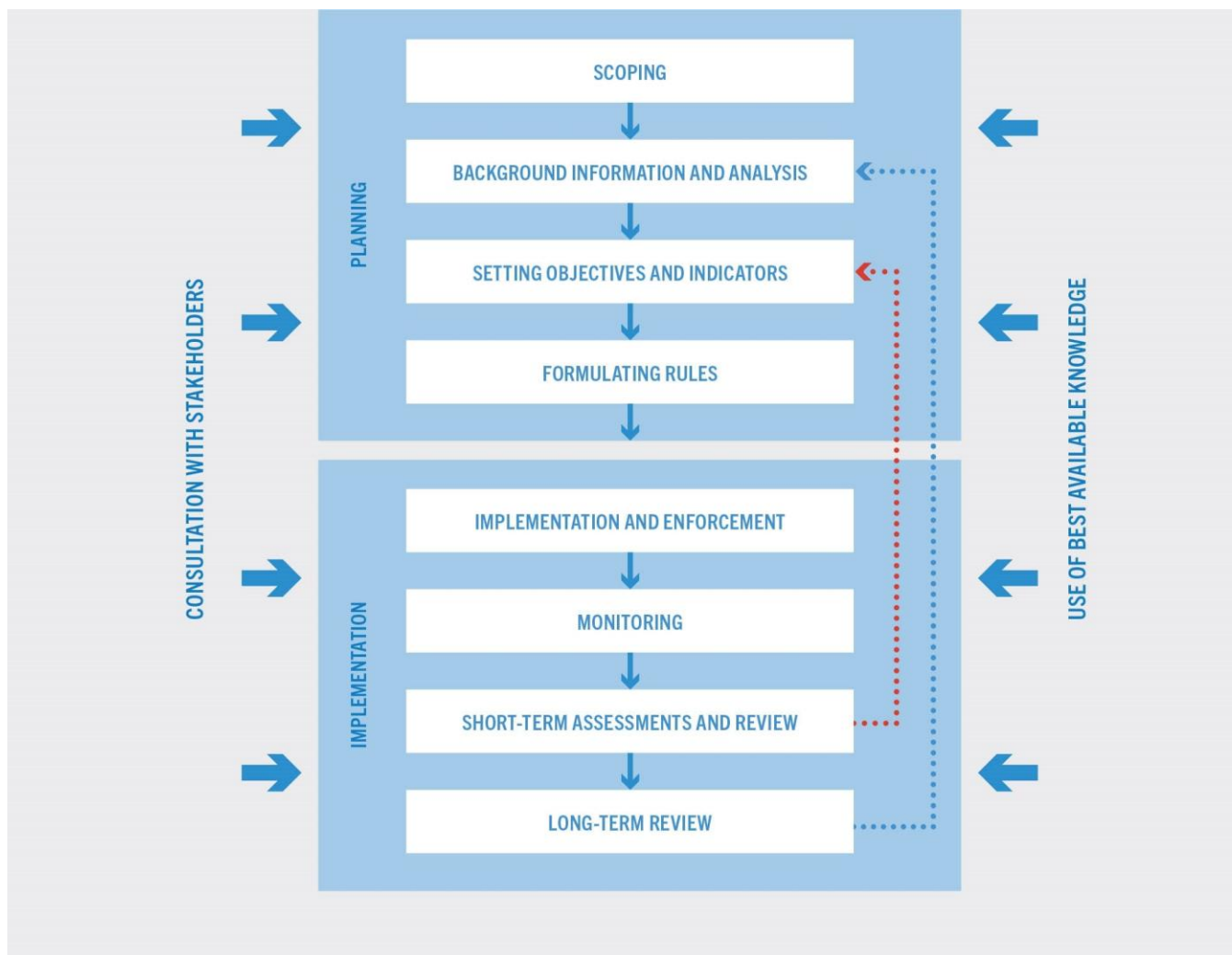


# Politika i upravljanje

- - Učinkoviti okviri:
  - Podupiranje održivih praksi i istraživanja otpornih sustava akvakulture.
  - Ulaganja u genetska istraživanja vrsta otpornih na klimatske promjene (Handisyde i sur., 2017).
- - Integracija u klimatske planove:
  - Usklađivanje politika akvakulture sa širim strategijama djelovanja u području klime.
  - Uravnotežiti gospodarski rast s ekološkom održivošću (Naylor i sur., 2023).
- - Rješavanje regionalnih razlika:
  - Potpora regijama s niskim dohotkom financiranjem, tehnologijom i stručnim znanjem.
  - Osigurati pravedan razvoj kako bi se održala globalna sigurnost hrane.



## Alternative za smanjenje potrebe za antimikrobnim sredstvima (Bondad-Reantaso i sur., 2023)



**Prilagodljivi ciklusi upravljanja koji pokazuju dodatnu povratnu spregu za rješavanje dinamične prirode klimatskih promjena (Prilagodbe ribarstva i akvakulture klimatskim promjenama, 2022.)**

The Digital Blue Carrier for a Post-Carbon Future - Curriculum Innovations in Aquaculture [DiBluCa]"

2023-1-LT01-KA220-HED-000154247





## Sažetak

- Toplinska stratifikacija i iscrpljivanje kisika ugrožavaju vodeni život, s ozbiljnim ekološkim i ekonomskim posljedicama.
- Rastuće temperature povećavaju metabolički stres vrsta, utječući na rast, reprodukciju i integritet ekosustava.
- Fluktuacije saliniteta narušavaju rasprostranjenost vrsta i operacije akvakulture, utječući na obalne zajednice.
- Eutrofikacija zbog opterećenja hranjivim tvarima uzrokuje štetno cvjetanje algi (HAB), gubitak kisika i degradaciju ekosustava.
- Nestašica vode, pogoršana klimatskim promjenama i ljudskim pritiscima, prijeti globalnoj sigurnosti vode.
- Akvakultura je sve osjetljivija na temperaturne promjene, bolesti i parazite, što ugrožava sigurnost hrane.
- Zone akvakulture mijenjaju se zbog klimatskih promjena, što zahtijeva preseljenje i održive prakse.



# Sažetak

- **Strateška rješenja:**
  - Razviti prilagodljive strategije koje kombiniraju tehnologiju i održive prakse.
  - Promicati međunarodnu suradnju, potporu politikama i uključivanje tradicionalnog ekološkog znanja.
  - Osiguravanje otpornosti vodenih sustava inovativnim, holističkim rješenjima za biološku raznolikost, sredstva za život i globalnu sigurnost opskrbe hranom.



# Literatura

- Alleway, H. K., Waters, T. J., Brummett, R., Cai, J., Cao, L., Megan Reilly Cayten, Barry Antonio Costa-Pierce, Dong, Y., Brandstrup, C., Liu, S., Liu, Q., Shelley, C., Theuerkauf, S. J., Tucker, L., Wang, Y., & Jones, R. C. (2023). Global principles for restorative aquaculture to foster aquaculture practices that benefit the environment. *Conservation Science and Practice*, 5(8). <https://doi.org/10.1111/csp2.12982>
- Andreyeva, A. Y., Kukhareva, T. A., Gostyukhina, O. L., & Vialova, O. Y. (2024). Impacts of ocean acidification and hypoxia on cellular immunity, oxygen consumption, and antioxidant status in Mediterranean mussel. *Fish and Shellfish Immunology*, 154, 109932. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2024.109932>
- Bondad-Reantaso, M. G., MacKinnon, B., Karunasagar, I., Fridman, S., Alday-Sanz, V., Brun, E., Le Groumellec, M., Li, A., Surachetpong, W., Karunasagar, I., Hao, B., Dall'Occo, A., Urbani, R., & Caputo, A. (2023). Review of alternatives to antibiotic use in aquaculture. *Reviews in Aquaculture*, 15(4). <https://doi.org/10.1111/raq.12786>
- Crozier, L. G., & Siegel, J. E. (2023). A Comprehensive Review of the Impacts of Climate Change on Salmon: Strengths and Weaknesses of the Literature by Life Stage. *Fishes*, 8(6), 319. <https://doi.org/10.3390/fishes8060319>
- Day, J. W., Rybczyk, J. M., & Stephens, J. R. (2024). Climate change effects on nutrient loading and coastal eutrophication. *Treatise on Estuarine and Coastal Science*, 6(18), 627–637. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-90798-9.00112-8>
- DeNicola, E., Aburizaiza, O. S., Siddique, A., Khwaja, H., & Carpenter, D. O. (2015). Climate change and water scarcity: The case of Saudi Arabia. *Annals of Global Health*, 81(3), 342–353. <https://doi.org/10.1016/j.aogh.2015.08.005>
- Deutsch, C., Penn, J. L., & Seibel, B. A. (2020). Climate change constrains fish metabolic scope and habitat suitability globally. *Science Advances*, 6(22), eaax0194. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aax0194>
- Duarte, J. A., Villanueva, R., Seijo, J. C., & Vela, M. A. (2022). Ocean acidification effects on aquaculture of a high resilient calcifier species: A bioeconomic approach. *Aquaculture*, 559, 738426. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.738426>
- Edwards, T. M., Puglis, H. J., Kent, D. B., Durán, J. L., Bradshaw, L. M., & Farag, A. M. (2023). Ammonia and aquatic ecosystems – A review of global sources, biogeochemical cycling, and effects on fish. *Science of the Total Environment*, 907, 167911. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.167911>
- Fisheries and aquaculture adaptations to climate change*. (2022). Fao.org. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/9df19f53-b931-4d04-acd3-58a71c6b1a5b/content/sofia/2022/adaptations-to-climate-crisis.html>



# Literatura

- Global warming and ocean oxygen levels (2018). <https://www.carbonbrief.org/guest-post-how-global-warming-is-causing-ocean-oxygen-levels-to-fall>
- Grabba, K. C., Ghosh, A., Adekunbi, F. O., Williamson, P., & Widdicombe, S. (2024). Ocean acidification: Causes, impacts, and policy actions. In *Encyclopedia of the Anthropocene* (pp. 51–59). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-14082-2.00011-9>
- Guimbeau, A., Ji, X. J., Long, Z., & Menon, N. (2024). Ocean salinity, early-life health, and adaptation. *Journal of Environmental Economics and Management*, 125, 102954. <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2024.102954>
- Hamilton, S. L., Elliott, M. S., deVries, M. S., Adelaars, J., & Rintoul, M. D. (2022). Integrated multi-trophic aquaculture mitigates the effects of ocean acidification: Seaweeds raise system pH and improve growth of juvenile abalone. *Aquaculture*, 560, 738571. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.738571>
- Hoeksema, S. D., Chuwen, B. M., Tweedley, J. R., & Potter, I. C. (2023). Ichthyofaunas of nearshore, shallow waters of normally-closed estuaries are highly depauperate and influenced markedly by salinity and oxygen concentration. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 291, 108410. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2023.108410>
- How the dead zones forms (2025). [https://www.insightsonindia.com/wp-content/uploads/2024/06/DEAD\\_ZONE-1.jpg](https://www.insightsonindia.com/wp-content/uploads/2024/06/DEAD_ZONE-1.jpg)
- Islam, M. J., Kunzmann, A., & Slater, M. J. (2021). Responses of aquaculture fish to climate change-induced extreme temperatures: A review. *Journal of the World Aquaculture Society*, 53(2). <https://doi.org/10.1111/jwas.12853>
- Yusoff, F. M., Wahidah A.D. Umi, Ramli, N. M., & Harun, R. (2024). Water Quality Management in Aquaculture. *Cambridge Prisms. Water*, 1–61. <https://doi.org/10.1017/wat.2024.6>
- Jones, B. L., Nordlund, L. M., Unsworth, R. K. F., Jiddawi, N. S., & Eklöf, J. S. (2021). Seagrass Structural Traits Drive Fish Assemblages in Small-Scale Fisheries. *Frontiers in Marine Science*, 8. <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.640528>
- Liu, S., Liu, Y., & Xing, Q. (2024). Climate change drives fish communities: Changing multiple facets of fish biodiversity in the Northwest Pacific Ocean. *Science of the Total Environment*, 955, 176854. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.176854>
- Mangi, S. C., Lee, J., Pinnegar, J. K., & Law, R. J. (2018). The economic impacts of ocean acidification on shellfish fisheries and aquaculture in the United Kingdom. *Environmental Science and Policy*, 86, 95-105. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2018.05.008>



# Literatura

- Mdoe, C. N., Mahonge, C. P., & Ngowi, E. E. (2025). Mapping the trends, knowledge production, and practices of climate-smart aquaculture. *Aquaculture*, 598, 741939. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2024.741939>
- Mensah, V., Chen, Y.-C., & Ohshima, K. I. (2025). Multidecadal decline in sea ice meltwater volume and implications for nutrient dynamics. *Progress in Oceanography*, 230, 103377. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2024.103377>
- Mingote, M. G., Galimany, E., Sala-Coromina, J., Bahamon, N., Ribera-Altimir, J., Santos-Bethencourt, R., Clavel-Henry, M., & Company, J. B. (2023). Warming and salinization effects on the deep-water rose shrimp, *Parapenaeus longirostris*, distribution along the NW Mediterranean Sea: Implications for bottom trawl fisheries. *Marine Pollution Bulletin*, 198, 115838. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.115838>
- Moussa, L. G., Mohan, M., Arachchige, P. S. P., Rathnasekara, H., Abdullah, M., & Abulibdeh, A. (2025). Impact of water availability on food security in GCC: Systematic literature review-based policy recommendations for a sustainable future. *Environmental Development*, 54, 101122. <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2024.101122>
- Naylor, R., et al. (2023). A global view of aquaculture policy. *Food Policy*, 116, 102422. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2023.102422>
- Neokye, E. O., et al. (2024). Climate change impacts on oyster aquaculture: Part II. *Environmental Research*, 259, 119535. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.119535>
- Nienhuis, S., et al. (2010). Ocean acidification effects on calcifying organisms. *Marine Ecology Progress Series*, 400, 287-302. <https://doi.org/10.3354/meps08307>
- NOAA. (2025, February 25). *Ocean Acidification*. National Oceanic and Atmospheric Administration; U.S. Department of Commerce. <https://www.noaa.gov/education/resource-collections/ocean-coasts/ocean-acidification>
- Nurul Ashikin Elias, Hassan, Nor, Okomoda Victor Tosin, Noor Aniza Harun, Sharifah Rahmah, & Hassan, M. (2023). Potential and limitation of biocontrol methods against vibriosis: a review. *Aquaculture International*, 31(4), 2355–2398. <https://doi.org/10.1007/s10499-023-01091-x>





# Literatura

Ocean deoxygenation (2025). <https://www.ioc.unesco.org/en/go2ne>

Okon, E. M., Oyesiji, A. A., & Eissa, E. H. (2024). The escalating threat of climate change-driven diseases in fish: Evidence from a global perspective. *Environmental Research*, 263, 120184.

<https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.120184>

Pham, C.-V., Wang, H.-C., Chen, S.-H., & Lee, J.-M. (2023). The Threshold Effect of Overfishing on Global Fishery Outputs: International Evidence from a Sustainable Fishery Perspective. *Fishes*, 8(2), 71. MDPI.

<https://doi.org/10.3390/fishes8020071>

Rahman, M. M., & Hung, T.-C. (2024). Impact of salinity and body size on sperm motility in three California smelt species. *Aquaculture Reports*, 39, 102503. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2024.102503>

Reister, I., Danielson, S., & Aguilar-Islas, A. (2024). Perspectives on Northern Gulf of Alaska salinity field structure, freshwater pathways, and controlling mechanisms. *Progress in Oceanography*, 229, 103373.

<https://doi.org/10.1016/j.pocean.2024.103373>

Ross, F. W. R., Boyd, P. W., & Filbee-Dexter, K. (2023). Potential role of seaweeds in climate change mitigation. *Science of the Total Environment*, 885, 163699. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.163699>

Sanaa Abdulaziz Mustafa, Abdulmotalib Jasim Al-Rudainy, & Noor Mohammad Salman. (2024). Effect of environmental pollutants on fish health: An overview. *Egyptian Journal of Aquatic Research/Egyptian Journal of Aquatic Research*, 50(2). <https://doi.org/10.1016/j.ejar.2024.02.006>

Seibel, B. A. (2024). On the validity of using the Metabolic Index to predict the responses of marine fishes to climate change. *Encyclopedia of Fish Physiology*, 3, 549-558. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-90801-6.00167-1>

Seneviratne, S. I. (2012). Historical drought trends revisited. *Nature*, 491(7424), 338–339.

<https://doi.org/10.1038/491338a>

Tarolli, P., Luo, J., Park, E., Barcaccia, G., & Masin, R. (2024). Soil salinization in agriculture: mitigation and adaptation strategies combining nature-based solutions and bioengineering. *IScience*, 27(2), 108830–108830.

<https://doi.org/10.1016/j.isci.2024.108830>



# Literatura

Wilson, P. C. (2019, November 18). *SL313/SS525: Water Quality Notes: Dissolved Oxygen*. Edis.ifas.ufl.edu.

<https://edis.ifas.ufl.edu/publication/SS525>

Woods, J. S., Veltman, K., & Huijbregts, M. A. J. (2016). Towards a meaningful assessment of marine ecological impacts in life cycle assessment. *Environment International*, 89–90, 48–61.

<https://doi.org/10.1016/j.envint.2015.12.033>

Zarzyczny, K. M., Rius, M., & Williams, S. T. (2024). The ecological and evolutionary consequences of tropicalisation. *Trends in Ecology & Evolution*, 39(3), 267–279. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2023.10.006>

Zhang, T., Liu, H., Lu, Y., Wang, Q., & Loh, Y. C. (2024). Impact of climate change on coastal ecosystem and outdoor activities: A comparative analysis among four largest coastline covering countries. *Environmental Research*, 250, 118405. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.118405>

Zhao, S., Liu, M., Tao, M., Zhou, W., Lu, X., Xiong, Y., Li, F., & Wang, Q. (2023). The role of satellite remote sensing in mitigating and adapting to global climate change. *Science of the Total Environment*, 904, 166820.

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.166820>

Zucca, C., Middleton, N., Kang, U., & Liniger, H. (2021). Shrinking water bodies as hotspots of sand and dust storms: The role of land degradation and sustainable soil and water management. *Catena*, 207, 105669.

<https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105669>