



Co-funded by
the European Union



Coordonator proiect 101124670 – INCDPM
Ing. DEÁK György, Ph.D. Habil
Membru Asociat al Academiei O.S.R. (INCDPM)

GHID PENTRU MĂSURI SPECIFICE DE REMEDIERE A POLUĂRII GENERATE DE CONFLICTE ARMATE Black Sea SIERRA



ISBN 978-606-28-2349-8



9 786062 182349
www.editurauniversitara.ro



EDITURA UNIVERSITARĂ



GHID PRIVIND MĂSURILE SPECIFICE DE REMEDIERE A POLUĂRII GENERATE DE CONFLICTELE ARMATE

Black Sea SIERRA



Co-funded by the
European Union

Finanțat de Uniunea Europeană. Opiniile și punctele de vedere exprimate aparțin exclusiv autorului/autorilor și nu reflectă în mod necesar poziția Uniunii Europene sau a Agenției Executive Europene pentru Climă, Infrastructură și Mediu (CINEA). Nici Uniunea Europeană și nici autoritatea finanțatoare nu pot fi considerate responsabile pentru acestea

Coordonator proiect 101124670 – Black Sea SIERRA

Ing. DEÁK György Ph.D. Habil

Membru Asociat al Academiei O.S.R. (INCDPM)

GHID PRIVIND MĂSURILE SPECIFICE DE REMEDIERE A POLUĂRII GENERATE DE CONFLICTELE ARMATE

Black Sea SIERRA



**EDITURA UNIVERSITARĂ
București**

Redactor: Laura Nicolescu
Tehnoredactor: Ameluța Vișan
Coperta: Monica Balaban

Editură recunoscută de Consiliul Național al Cercetării Științifice (C.N.C.S.) și inclusă de Consiliul Național de Atestare a Titlurilor, Diplomelor și Certificatelor Universitare (C.N.A.T.D.C.U.) în categoria editurilor de prestigiu recunoscut.

Descrierea CIP a Bibliotecii Naționale a României

DEÁK, GYÖRGY

**Ghid pentru măsuri specifice de remediere a
poluării generate de conflicte armate / György Deák. -**

București : Editura Universitară, 2026

Conține bibliografie

ISBN 978-606-28-2349-8

504

556

DOI: (Digital Object Identifier): 10.5682/9786062823498

© Toate drepturile asupra acestei lucrări sunt rezervate, nicio parte din această lucrare nu poate fi copiată fără acordul Editurii Universitare

Copyright © 2026

Editura Universitară

Editor: Vasile Muscalu

B-dul. N. Bălcescu nr. 27-33, Sector 1, București

Tel.: 021.315.32.47

www.editurauniversitara.ro

e-mail: redactia@editurauniversitara.ro

Distribuție: tel.: 021.315.32.47 / 0745 200 718/ 0745 200 357

comenzi@editurauniversitara.ro

www.editurauniversitara.ro

DETALII DOCUMENT

Acronim proiect	Black Sea SIERRA
Titlu proiect	Harnessing complementary curricular preparedness via sustainable management in response to civil and military pollution on the coastline, tributaries and lagoons in Black Sea's North, West, South zone
Numărul acordului de finanțare	101124670
Coordonatorul consorțiului	Institutul Național de Cercetare-Dezvoltare pentru Protecția Mediului București (INCDPM)
Durata proiectului	36 luni (01.10.2023 – 30.09.2026)
Autoritatea care acordă finanțarea	European Climate, Infrastructure and Environment Executive Agency (CINEA)
Program de finanțare	European Maritime, Fisheries and Aquaculture Fund (EMFAF)
Apel	EMFAF-2023-PIA-FLAGSHIP - Regional flagships projects supporting sustainable blue economy in EU sea basins
Temă	EMFAF-2023-PIA-FLAGSHIP-2-BLACK - Harnessing preparedness and response to marine pollution in the Black Sea
Titlu document	<i>Ghid pentru măsuri specifice de remediere a poluării generate de conflicte armate</i>
Pachet de lucru	WP6
Nivel diseminare	PU - Public
Autori	DEÁK György, Matei Monica, Boboc Mădălina, Holban Elena, Tudor Georgeta, Popa Alexandra, Prangate Raluca, Istrate Iulia, Harabagiu Alexandra, Gheorghe Ionut, Chirescu Alexandra - <i>Institutul Național De Cercetare-Dezvoltare Pentru Protecția Mediului București (INCDPM)</i> Pernice Alessandro, Terranova Melinda - <i>E.M. ASSOCIAZIONE A.R.C.E.S. - ARCES (ARCES)</i> Mehmet Aydin - <i>Ordu Universitesi (ORDU)</i> Viktor Komorin, Yuliia Kotelnikova - <i>Ukrainian Scientific Centre of Ecology of the Sea (UkrSCES)</i> Vizureanu Petrică, Sandu Andrei, Burduhos-Nergis Dumitru Doru - <i>Universitatea Tehnică „Gheorghe Asachi” din Iași (TUIASI)</i> Samoilescu Gheorghe, Pazara Tiberiu, Apetroaei Manuela Rossemmary, Toma Alecu, Nedelcu Andra - <i>Academia Navală „Mircea cel Bătrân” (MBNAR)</i>



Co-funded by the
European Union

Finanțat de Uniunea Europeană. Opiniile și punctele de vedere exprimate aparțin exclusiv autorului/autorilor și nu reflectă în mod necesar poziția Uniunii Europene sau a Agenției Executive Europene pentru Climă, Infrastructură și Mediu (CINEA). Nici Uniunea Europeană și nici autoritatea finanțatoare nu pot fi considerate responsabile pentru acestea

MEMBRII CONSORTIUM

Coordonator

**INSTITUTUL NAȚIONAL DE CERCETARE-DEZVOLTARE
PENTRU PROTECȚIA MEDIULUI BUCUREȘTI - INCDPM
România**



P1

**INSTITUTUL DE OCEANOLOGIE DIN BULGARIA,
ACADEMIA BULGARĂ DE ȘTIINȚE - IO-BAS
Bulgaria**



P2

**ORGANIZAȚIA E.M. A.R.C.E.S. - ARCES
Italia**



P3

**UNIVERSITATEA ORDU - ORDU
Turcia**



P4

**CENTRUL ȘTIINȚIFIC UCRAINEAN DE ECOLOGIE
MARINĂ - UkrSCES
Ucraina**



P5

**ACADEMIA NAVALĂ MIRCEA CEL BĂTRÂN - MBNAR
România**



P6

**UNIVERSITATEA TEHNICĂ GHEORGHE ASACHI DIN
IAȘI - TUIASI
România**



Co-funded by the
European Union

Finanțat de Uniunea Europeană. Opiniile și punctele de vedere exprimate aparțin exclusiv autorului/autorilor și nu reflectă în mod necesar poziția Uniunii Europene sau a Agenției Executive Europene pentru Climă, Infrastructură și Mediu (CINEA). Nici Uniunea Europeană și nici autoritatea finanțatoare nu pot fi considerate responsabile pentru acestea

CUPRINS

Listă de abrevieri.....	11
Introducere	12
Capitolul 1: Cadrele de politică și principiile directoare pentru remedierea mediului marin	15
Instrumente juridice și convenții internaționale	15
Directivile Uniunii Europene și inițiativele de guvernanță regională.....	16
Principiile fundamentale ale managementului de mediu	18
Capitolul 2: Metodologii tehnice de decontaminare pentru contaminanții marini.....	20
2.1 Cadrul de remediere integrat și criteriile de selecție a tehnologiilor	20
2.2 Remedierea mecanică, chimică și biologică a scurgerilor de petrol.....	21
2.3 Tehnologii avansate pentru îndepărtarea deșeurilor plastice și a resturilor din mediul marin.....	22
2.4 Remedierea eutrofizării și a poluării cu nutrienți	24
2.5 Remedierea metalelor grele prin metode fizice, chimice, biologice și bazate pe nanotehnologie	25
2.6 Contaminanți emergenți, reziduuri de explozivi și riscuri radiologice.....	27
2.7 Monitorizarea pe termen lung și verificarea performanței	28
Capitolul 3: Evaluarea strategică și răspunsul urgent la poluarea produsă de conflictul armat	29
3.1 Analiza vectorilor de poluare generați de conflicte în Marea Neagră	29
3.2 Evaluarea riscului ecologic și prioritizarea zonelor cu nivel ridicat de poluare.....	30
3.3 Protocoale pentru monitorizarea de urgență și răspunsul la distanță.....	31
3.4 Reconstrucția durabilă în perioada post-conflict și restaurarea ecosistemelor	33



Co-funded by the
European Union

Finanțat de Uniunea Europeană. Opiniile și punctele de vedere exprimate aparțin exclusiv autorului/autorilor și nu reflectă în mod necesar poziția Uniunii Europene sau a Agenției Executive Europene pentru Climă, Infrastructură și Mediu (CINEA). Nici Uniunea Europeană și nici autoritatea finanțatoare nu pot fi considerate responsabile pentru acestea

Capitolul 4: Cadrul de prioritizare al riscurilor și de luare a deciziilor pentru poluarea marină asociată conflictelor	35
4.1 Caracterizarea siturilor și evaluarea condițiilor de referință ale mediului.....	35
4.2 Clasificarea riscului ecologic și ierarhizarea priorităților.....	36
4.3 Cadru de sprijin pentru luarea deciziilor privind selectarea tehnologiilor de remediere....	37
4.4 Monitorizarea mediului, indicatorii de performanță și managementul adaptativ	39
4.5 Coordonarea instituțională și mecanismele de guvernare.....	40
4.6 Plan operațional pentru recuperarea mediului marin post-conflict.....	41
Concluzii.....	43
Bibliografie.....	45



LISTĂ DE ABREVIERI

Abrevieri	Termen complet	Descriere
HMX	Exploziv cu punct de topire ridicat	Compus exploziv de mare energie (octahidro-1,3,5,7-tetranitro-1,3,5,7-tetrazocină), utilizat în aplicații militare datorită performanțelor sale ridicate de detonare și stabilității sale
ICZM	Managementul integrat al zonei costiere	O abordare interdisciplinară pentru gestionarea durabilă a zonelor costiere, care integrează considerente de mediu, economice și sociale
LDPE	Polietilenă de joasă densitate	Un polimer plastic utilizat pe scară largă, caracterizat prin densitate scăzută și flexibilitate, identificat frecvent ca contaminant în deșeurile marine
RDX	Departamentul de Cercetare pentru Explozivi	Compus exploziv de mare energie (ciclotrimetilente-tranitramină), utilizat în mod obișnuit în explozivi militari și muniții.
SAR	Radar cu apertură sintetică	Tehnologia radar de teledetecție este utilizată pentru monitorizarea mediilor terestre și marine, inclusiv pentru detectarea modificărilor de suprafață și a evenimentelor asociate poluării.
TNT	Trinitrotoluen	Compus exploziv de mare energie utilizat pe scară largă în aplicații militare și recunoscut ca potențial contaminant de mediu.
UDMH	Dimetilhidrazină nesimetrică	Combustibil pentru propulsie de rachete, foarte toxic și reactiv, utilizat în principal în aplicații aerospațiale și militare.



Co-funded by the
European Union

Finanțat de Uniunea Europeană. Opiniile și punctele de vedere exprimate aparțin exclusiv autorului/autorilor și nu reflectă în mod necesar poziția Uniunii Europene sau a Agenției Executive Europene pentru Climă, Infrastructură și Mediu (CINEA). Nici Uniunea Europeană și nici autoritatea finanțatoare nu pot fi considerate responsabile pentru acestea

INTRODUCERE

Ecosistemele marine și costiere sunt recunoscute din ce în ce mai mult ca elemente esențiale ale securității de mediu, oferind servicii ecosistemice esențiale, funcții de conservare a biodiversității, mecanisme de reglare climatică și beneficii socio-economice comunităților costiere din întreaga lume [6,11,12]. Cu toate acestea, aceste ecosisteme sunt extrem de vulnerabile la impactul conflictelor armate, care generează căi complexe și adesea de lungă durată de poluare, capabile să compromită integritatea ecologică la scară regională și transfrontalieră [2,3,4]. Poluarea marină indusă de conflicte diferă substanțial de contaminarea antropogenă convențională, deoarece se caracterizează prin eliberări bruște de mai multe clase de contaminanți, accesibilitate limitată la locații, sisteme de guvernare de mediu afectate și constrângeri severe asupra activităților de monitorizare și remediere [2,4,5]. Operațiunile militare pot introduce simultan în mediul marin hidrocarburi petroliere, metale grele, reziduuri de muniție neexplodată, poluanți organici persistenți, materiale plastice, substanțe chimice industriale periculoase, materiale radioactive și deșeuri municipale netratate, creând presiuni ecologice cumulative care persistă adesea timp de zeci de ani după încetarea ostilităților [2,3,15,16].

Evaluările recente ale conflictului dintre Rusia și Ucraina au evidențiat amploarea degradării mediului care poate apărea atunci când activitățile militare afectează regiunile costiere dens industrializate și coridoarele maritime de importanță strategică [3,8,15]. În bazinul Mării Negre, impacturile asupra mediului au inclus scurgeri de petrol și combustibil din navele avariate și din infrastructura portuară, contaminarea asociată cu atacurile asupra instalațiilor industriale, perturbarea sistemelor de tratare a apelor uzate, acumularea de resturi militare, distrugerea habitatelor marine și riscuri crescute de eliberare a substanțelor periculoase în apele de coastă [3,15]. Aceste presiuni amenință obiectivele de conservare a biodiversității, productivitatea pescuitului, ecosistemele, sănătatea publică și stabilitatea economică regională [15,16].

Protecția ecosistemelor marine în timpul și după conflictele armate este susținută de un cadru în continuă evoluție, alcătuit din dreptul internațional al mediului, dreptul internațional



Co-funded by the
European Union

Finanțat de Uniunea Europeană. Opiniile și punctele de vedere exprimate aparțin exclusiv autorului/autorilor și nu reflectă în mod necesar poziția Uniunii Europene sau a Agenției Executive Europene pentru Climă, Infrastructură și Mediu (CINEA). Nici Uniunea Europeană și nici autoritatea finanțatoare nu pot fi considerate responsabile pentru acestea

umanitar și mecanismele regionale de guvernare în domeniul mediului. Printre instrumentele juridice cheie se numără Convenția Națiunilor Unite privind dreptul mării, Convențiile de la Geneva și protocoalele lor adiționale, Proiectul de principii al Comisiei de Drept Internațional privind protecția mediului în contextul conflictelor armate, precum și acorduri regionale precum Convenția privind protecția Mării Negre împotriva poluării [5,6,7,13]. Împreună, aceste instrumente stabilesc obligații de prevenire, minimizare, evaluare și remediere a daunelor aduse mediului cauzate de activitățile militare. Dovezile științifice demonstrează că nicio tehnologie de remediere nu este capabilă să facă față diversității contaminanților generați de războiul modern [1]. Prin urmare, refacerea eficientă a mediului necesită cadre integrate de remediere care să combine măsuri de izolare de urgență, tehnologii avansate de monitorizare, tehnici de îndepărtare fizică, procese de stabilizare chimică, sisteme de tratare biologică, abordări de fitoremediere și strategii pe termen lung de refacere a ecosistemului [1,28]. Selectarea măsurilor de remediere adecvate trebuie să se bazeze pe evaluări bazate pe riscuri, care să ia în considerare caracteristicile contaminanților, sensibilitatea ecologică, căile de expunere, fezabilitatea tehnică și obiectivele de sustenabilitate pe termen lung [9,10,22].

Pe baza datelor colectate în cadrul Bazei de date privind soluțiile de remediere de ultimă generație [1], prezentul document orientativ oferă un cadru cuprinzător pentru evaluarea, stabilirea priorităților, remedierea și refacerea mediilor marine și costiere afectate de poluarea generată de conflictele armate. Documentul integrează obligațiile juridice internaționale, obiectivele politicii europene de mediu și tehnologiile de remediere de ultimă generație pentru a sprijini autoritățile de mediu, factorii de decizie, inginerii, administrațiile portuare și organizațiile internaționale implicate în refacerea mediului în urma conflictelor. Obiectivul său final este de a facilita intervenții solide din punct de vedere științific, fezabile din punct de vedere operațional și durabile din punct de vedere ecologic, capabile să restabilească integritatea ecologică și să consolideze reziliența ecosistemelor marine afectate de conflicte [1,3,5].



CAPITOLUL 1

CADRELE DE POLITICĂ ȘI PRINCIPIILE DIRECTOARE PENTRU REMEDIEREA MEDIULUI MARIN

Instrumente juridice și convenții internaționale

Prevenirea și atenuarea poluării marine cauzate de conflictele armate sunt reglementate de un cadru complex alcătuit din dreptul internațional al mediului, dreptul internațional umanitar și principiile de drept cutumiar. Împreună, aceste instrumente stabilesc obligații pentru state și părțile implicate în conflict în vederea prevenirii daunelor aduse mediului, a reducerii la minimum a efectelor negative asupra mediului în timpul operațiunilor militare și a sprijinirii procesului de refacere post-conflict [2,4,5].

Principalul temei juridic pentru protecția mediului marin îl constituie Convenția Națiunilor Unite privind dreptul mării (UNCLOS), adoptată în 1982 [6]. Articolele 192 și 194 stabilesc obligația statelor de a proteja și conserva mediul marin și de a preveni, reduce și controla poluarea provenită din toate sursele, inclusiv din activități cu potențială relevanță militară. Aceste obligații sunt completate de articolele 204–206, care impun monitorizarea mediului, evaluarea impactului și schimbul de informații în cazurile de risc ecologic semnificativ [6].

Dreptul internațional umanitar consolidează și mai mult protecția mediului în timpul conflictelor armate. Protocolul adițional I la Convențiile de la Geneva interzice metodele de război care ar putea provoca daune extinse, pe termen lung și grave mediului natural și impune protecția mediilor civile, inclusiv a sistemelor ecologice. Deși inițial nu au fost concepute având în vedere ecosistemele marine, aceste dispoziții sunt interpretate în prezent pe scară largă ca fiind aplicabile operațiunilor navale, atacurilor de coastă și țințelor industriale care afectează mediile marine [7].

Regulamentele de la Haga din 1907 își păstrează relevanța prin principiile necesității militare și proporționalității, pe care interpretarea juridică modernă le extinde din ce în ce mai



Co-funded by the
European Union

Finanțat de Uniunea Europeană. Opiniile și punctele de vedere exprimate aparțin exclusiv autorului/autorilor și nu reflectă în mod necesar poziția Uniunii Europene sau a Agenției Executive Europene pentru Climă, Infrastructură și Mediu (CINEA). Nici Uniunea Europeană și nici autoritatea finanțatoare nu pot fi considerate responsabile pentru acestea

mult la protecția mediului [2,4]. Distrugerea excesivă sau evitabilă a mediului este considerată în prezent, în general, incompatibilă cu aceste principii.

O evoluție semnificativă o reprezintă Proiectul de principii al Comisiei de Drept Internațional privind protecția mediului în contextul conflictelor armate (2022), care consolidează normele juridice existente în fazele premergătoare conflictului, din timpul conflictului și post-conflict [5]. Aceste principii pun accentul pe integrarea aspectelor de mediu în planificarea militară, interzic provocarea de daune grave mediului și încurajează cooperarea, monitorizarea și remedierea post-conflict.

Dreptul internațional cutumiar consolidează aceste obligații tratate prin „principiul neprejudiciării”, care impune statelor să prevină daunele transfrontaliere aduse mediului cauzate de activitățile aflate sub jurisdicția lor [2,4]. Acest principiu este deosebit de relevant în cazul mărilor semi-închise, precum Marea Neagră, unde poluarea se poate răspândi rapid dincolo de granițele naționale [6,13].

Comitetul Internațional al Crucii Roșii elaborează în continuare orientări operaționale, subliniind necesitatea evaluării riscurilor de mediu, a măsurilor de precauție, a protecției ecosistemelor sensibile și a responsabilităților legate de refacerea mediului după conflict [4]. Aceste orientări recunosc, de asemenea, consecințele umanitare pe termen lung ale degradării mediului, inclusiv impactul asupra calității apei, securității alimentare și mijloacelor de subsistență dependente de ecosisteme.

Evaluările recente realizate de Programul Națiunilor Unite pentru Mediu confirmă faptul că daunele aduse mediului de către războaiele moderne se extind mult dincolo de zonele imediate de luptă, afectând bazinele hidrografice, sistemele costiere și ecosistemele marine la scară regională [2,3]. În consecință, protecția mediului în contextul conflictelor armate este recunoscută din ce în ce mai mult ca o problemă de securitate internațională care necesită răspunsuri coordonate la nivel juridic, instituțional și științific [3].

Directivele Uniunii Europene și inițiativele de guvernanță regională

În cadrul Uniunii Europene, protecția mediului marin este reglementată de un cadru politic integrat menit să asigure sustenabilitatea ecologică pe termen lung, sprijinind în același timp



dezvoltarea economică și reziliența mediului [11,12]. Aceste instrumente oferă un model de referință relevant pentru refacerea mediului în urma conflictelor în regiunile marine europene, inclusiv în Marea Neagră. Directiva-cadru privind apa (2000/60/CE) stabilește obiectivul de a atinge o stare ecologică și chimică bună pentru toate corpurile de apă printr-o abordare bazată pe gestionarea bazinelor hidrografice [12]. Această perspectivă integrată este deosebit de relevantă în zonele afectate de conflicte, unde poluarea provine adesea din infrastructura avariata și este transportată din sistemele interioare către mediile costiere și marine.

În completarea acestui demers, Directiva-cadru privind strategia marină (2008/56/CE) are ca obiectiv atingerea unei stări ecologice bune în apele marine europene prin intermediul a unsprezece descriptori de mediu, printre care biodiversitatea, contaminanții, deșeurile marine, zgomotul subacvatic și integritatea ecosistemului [11]. Multe dintre aceste presiuni sunt influențate direct de activitățile militare, ceea ce conferă directivei o relevanță deosebită pentru evaluarea degradării mediului marin cauzată de conflicte.

Trebuie menționat faptul că niciunul dintre instrumentele menționate mai sus — și nici alte reglementări de mediu europene sau internaționale aflate în vigoare în prezent — nu stabilește standarde specifice de calitate a mediului pentru contaminanții asociați direct cu conflictele armate, precum TNT, RDX și alte reziduuri de explozivi, combustibili pentru rachete (de exemplu, dimetilhidrazină asimetrică, UDMH) sau metale grele de origine militară. Valorile prag existente în temeiul Directivei-cadru privind apa și al legislației conexe au fost elaborate în principal pentru poluanții industriali și agricoli, lăsând un vid legislativ care îngreunează definirea unor obiective clare și obligatorii din punct de vedere juridic de remediere pentru mediile marine afectate de conflicte.

Pactul Verde European și Planul de Acțiune „Zero poluare” consolidează și mai mult aceste obiective, acordând prioritate prevenirii poluării, refacerii ecosistemelor, principiilor economiei circulare și gestionării durabile a resurselor [11]. În acest context, protecția mediului este recunoscută din ce în ce mai mult ca fiind mai eficientă și mai rentabilă atunci când este integrată din timp în planificarea reconstrucției și a dezvoltării. La nivel de implementare, misiunea UE „Restore Our Ocean and Waters” promovează soluții bazate pe știință pentru refacerea mediului marin, monitorizarea poluării și reziliența ecosistemelor prin



inovare și cooperarea părților interesate [11]. La scară regională, guvernanta Mării Negre este structurată în principal prin Convenția de la București privind protecția Mării Negre împotriva poluării [13]. Acest cadru juridic obligatoriu abordează poluarea provenită din surse terestre, activitățile maritime, deversările și situațiile de urgență.

Convenția este pusă în aplicare prin intermediul Comisiei Mării Negre, care coordonează monitorizarea mediului și promovează practici armonizate de gestionare în rândul statelor riverane [13]. Activitatea acesteia este susținută de Planul strategic de acțiune pentru reabilitarea și protecția Mării Negre, care se concentrează pe reducerea poluării, conservarea biodiversității, pescuitul durabil și cooperarea regională [14]. În urma impactului asupra mediului al conflictului dintre Rusia și Ucraina, importanța unei guvernante regionale coordonate a crescut semnificativ, evidențiind vulnerabilitatea ecosistemelor marine la instabilitatea geopolitică [3,15]. Deoarece poluarea marină se răspândește peste granițele naționale prin procese hidrodinamice, remedierea eficientă a situației din Marea Neagră necesită punerea în aplicare integrată a politicilor UE, a convențiilor internaționale și a acordurilor regionale [3,13,15].

Principiile fundamentale ale managementului de mediu

Remedierea eficientă a poluării marine cauzate de conflicte necesită principii solide de gestionare a mediului, capabile să ghideze procesul decizional în condiții de incertitudine, complexitate ecologică și constrângeri operaționale [1,2]. Aceste principii constituie baza conceptuală pentru integrarea obligațiilor legale, a intervențiilor tehnice și a strategiilor de refacere pe termen lung.

Principiul precauției este esențial pentru guvernanta de mediu, impunând măsuri preventive în cazurile de potențiale daune grave sau ireversibile aduse mediului, chiar și atunci când certitudinea științifică este incompletă [11,12]. În contextele post-conflict, unde accesul și datele sunt adesea limitate, acest principiu este esențial pentru a reduce daunele ecologice suplimentare [4,5].

În strânsă legătură cu acesta, principiul prevenirii pune accentul pe evitarea poluării la sursă, întrucât prevenirea este, în general, mai eficientă și mai puțin costisitoare decât



remedierea. Acest lucru necesită integrarea controlului poluării și a proiectării durabile în procesul de reconstrucție și în planificarea industrială încă de la început [1,11]. Principiul „poluatorul plătește” consolidează responsabilitatea față de mediu, impunând celor responsabili de daunele aduse mediului să suporte costurile monitorizării, remedierii și refacerii. În ciuda provocărilor legate de aplicarea sa în contextele de conflict, acesta rămâne un element-cheie al descurajării și al guvernantei de mediu [5,11,12].

Gestionarea integrată a zonelor costiere (ICZM) oferă un cadru pentru coordonarea interacțiunilor dintre uscat și mare și pentru echilibrarea obiectivelor de mediu, sociale și economice, sprijinind remedierea coerentă dincolo de granițele administrative și ecologice [11]. Abordările privind gestionarea durabilă a deșeurilor și economia circulară sunt deosebit de relevante în mediile post-conflict, caracterizate de volume mari de resturi și materiale contaminate. Recuperarea resurselor și minimizarea poluării secundare sunt esențiale pentru reducerea impacturilor asupra mediului pe termen lung [1,11,22].

Managementul bazat pe ecosistem completează această abordare, concentrându-se pe interacțiunile ecologice, conectivitatea habitatelor și impacturile cumulative, mai degrabă decât pe contaminanții individuali. Acest aspect este deosebit de important în scenarii conflictuale, în care mai mulți factori de stres acționează simultan asupra sistemelor marine [1,11,16]. Soluțiile bazate pe natură, precum bioremedierea, fitoremedierea, refacerea habitatelor și ingineria ecologică, sporesc și mai mult reziliența și rentabilitatea [1,18,20,23].

În cele din urmă, gestionarea adaptativă este esențială datorită incertitudinii legate de modelele de contaminare și de reacțiile ecosistemelor. Monitorizarea continuă și ajustările iterative asigură menținerea eficacității strategiilor de remediere în timp [1,9,10]. Împreună, aceste principii constituie baza operațională pentru toate activitățile de evaluare, remediere, monitorizare și refacere descrise în prezentul ghid, asigurând o abordare coerentă și durabilă a refacerii ecosistemelor marine în contexte post-conflict.



CAPITOLUL 2

METODOLOGII TEHNICE DE DECONTAMINARE PENTRU CONTAMINANȚII MARINI

2.1 Cadrul de remediere integrat și criteriile de selecție a tehnologiilor

Poluarea marină generată de conflictele armate prezintă provocări tehnice unice, datorită prezenței simultane a mai multor clase de contaminanți, a infrastructurii avariate, a accesibilității limitate la amplasamente și a riscurilor de mediu ridicate [1,3,15]. Spre deosebire de evenimentele convenționale de poluare, contaminarea legată de conflicte implică adesea eliberarea simultană de hidrocarburi petroliere, metale grele, materiale plastice, reziduuri de muniție neexplodată, substanțe chimice industriale periculoase, ape uzate netratate și resturi militare, ceea ce duce la scenarii de mediu extrem de complexe care necesită strategii integrate de remediere [1,31].

Dovezile științifice indică faptul că nicio tehnologie de remediere nu este capabilă să abordeze în mod eficient întreaga gamă de contaminanți generați în timpul operațiunilor militare [1]. În consecință, cadrele contemporane de remediere adoptă din ce în ce mai mult o abordare bazată pe risc, în care soluțiile fizice, chimice, biologice și bazate pe natură sunt combinate în funcție de condițiile specifice ale amplasamentului și de obiectivele de mediu [1,2]. Selectarea tehnologiilor adecvate trebuie să țină seama de caracteristicile contaminanților, de nivelurile de concentrație, de sensibilitatea mediului, de condițiile hidrodinamice, de fezabilitatea operațională, de constrângerile de securitate și de cerințele de sustenabilitate pe termen lung [9,10,35].

Programele eficiente de remediere urmează, în general, un cadru secvențial care începe cu măsuri de urgență menite să limiteze dispersia contaminanților. Aceste acțiuni sunt completate ulterior de tehnologii active de remediere concepute pentru a reduce concentrațiile de contaminanți, urmate de intervenții de refacere ecologică menite să restabilească funcționalitatea ecosistemului. Monitorizarea pe termen lung a mediului și gestionarea



Co-funded by the
European Union

Finanțat de Uniunea Europeană. Opiniile și punctele de vedere exprimate aparțin exclusiv autorului/autorilor și nu reflectă în mod necesar poziția Uniunii Europene sau a Agenției Executive Europene pentru Climă, Infrastructură și Mediu (CINEA). Nici Uniunea Europeană și nici autoritatea finanțatoare nu pot fi considerate responsabile pentru acestea

adaptativă rămân componente esențiale pe parcursul întregului proces de remediere, asigurând atingerea și menținerea obiectivelor de refacere în timp [3,9,10].

2.2 Remedierea mecanică, chimică și biologică a scurgerilor de petrol

Contaminarea cu hidrocarburi reprezintă una dintre cele mai grave consecințe asupra mediului asociate războiului maritim și atacurilor asupra infrastructurii de coastă. Scurgerile de petrol la scară largă se pot răspândi rapid în mediul marin, afectând habitatele de coastă, resursele piscicole, biodiversitatea marină și serviciile ecosistemice, generând în același timp efecte toxicologice atât acute, cât și cronice [29,30,31].

Tehnologiile mecanice de izolare și recuperare reprezintă opțiunea preferată de intervenție inițială, deoarece îndepărtează fizic contaminanții din mediu fără a introduce agenți chimici suplimentari. Barajele plutitoare de izolare sunt utilizate în mod obișnuit pentru a limita dispersia orizontală a petelor de petrol, în timp ce skimmerele și sistemele de recuperare prin vid sunt folosite pentru a colecta hidrocarburile plutitoare de la suprafața apei. În condiții meteorologice și de stare a mării favorabile, aceste tehnologii pot atinge eficiențe semnificative de recuperare și pot reduce riscul ca contaminarea să ajungă în zone sensibile din punct de vedere ecologic, precum estuare, zone umede, pajiști de iarbă de mare și lagune costiere [8,29,30].

Atunci când recuperarea mecanică nu este suficientă, se pot utiliza tehnologii de intervenție chimică pentru a accelera degradarea naturală a hidrocarburilor. Dispersanții chimici reduc tensiunea interfacială dintre petrol și apă, favorizând formarea unor picături mai mici, care devin mai accesibile proceselor de degradare microbiană [32]. Deși dispersanții pot reduce semnificativ riscurile de contaminare a zonelor de coastă, utilizarea lor rămâne subiectul unor dezbateri științifice din cauza preocupărilor legate de potențialele efecte toxicologice asupra organismelor marine și de creșterea expunerii la contaminanți în coloana de apă. În consecință, aplicarea dispersanților ar trebui luată în considerare numai în urma unor evaluări cuprinzătoare ale riscurilor de mediu și sub supravegherea corespunzătoare a autorităților de reglementare [32].



Bioremedierea s-a impus ca una dintre cele mai promițătoare abordări pe termen lung pentru tratarea contaminării cu hidrocarburi în mediile marine [18,19]. Această strategie valorifică capacitățile metabolice ale microorganismelor prezente în mod natural sau introduse, capabile să degradeze compușii petrolieri în substanțe mai puțin nocive. Tehnicile de biostimulare implică intensificarea activității comunităților microbiene indigene prin suplimentarea cu nutrienți, în timp ce bioaugmentarea se bazează pe introducerea unor microorganisme specializate în degradarea hidrocarburilor [18]. Numeroase studii au demonstrat eficacitatea consorțiilor bacteriene care conțin specii precum *Pseudomonas aeruginosa* și *Rhodococcus erythropolis* în accelerarea degradării hidrocarburilor în condiții marine [19]. Cu toate acestea, eficiența tratării biologice rămâne puternic dependentă de parametrii de mediu, inclusiv temperatura, disponibilitatea oxigenului, concentrațiile de nutrienți și compoziția contaminanților.

2.3 Tehnologii avansate pentru îndepărtarea deșeurilor plastice și a resturilor din mediul marin

Poluarea marină cu plastic a devenit o preocupare majoră în domeniul mediului, datorită persistenței sale, distribuției pe scară largă și efectelor ecologice negative [26,27,33]. Conflictele armate contribuie în mod semnificativ la această problemă prin distrugerea infrastructurii, a echipamentelor militare, a materialelor de ambalare, a componentelor sintetice și a deșeurilor generate de operațiunile militare. Odată introduse în mediul marin, aceste materiale pot suferi procese de fragmentare care duc la formarea de microplastice și nanoplastice capabile să pătrundă în lanțurile trofice acvatice [26].

Îndepărtarea fizică rămâne cea mai eficientă abordare pentru gestionarea deșeurilor plastice de dimensiuni mari și a deșeurilor plutitoare. Barierele plutitoare, sistemele pasive de interceptare, navele autonome de colectare și operațiunile de curățare a țărmului și-au demonstrat eficacitatea substanțială în reducerea acumulării de macroplastic în mediile costiere și marine [34]. Cu toate acestea, implementarea cu succes necesită întreținere continuă, o infrastructură adecvată de gestionare a deșeurilor și eforturi coordonate de gestionare care să implice autoritățile de mediu și părțile interesate locale.





Figura 1: Deșeuri și resturi din plastic care poluează un corp de apă, punând în evidență problema deșeurilor marine. Sursă: Pexels

Pentru a maximiza recuperarea resurselor și a minimiza impactul secundar asupra mediului, deșeurile de plastic colectate ar trebui integrate în cadrele economiei circulare ori de câte ori este posibil [11]. Tehnologiile avansate de reciclare termică și chimică, inclusiv procesele de piroliză și depolimerizare catalitică, permit transformarea materialelor plastice în combustibili, materii prime chimice și produse industriale reutilizabile [27,33]. Astfel de abordări contribuie nu numai la reducerea poluării, ci și la îndeplinirea obiectivelor de conservare a resurselor și de minimizare a deșeurilor.

Tehnologiile de degradare biologică au stârnit un interes științific tot mai mare ca alternative durabile pentru gestionarea deșeurilor din plastic [28]. Anumite specii de bacterii și ciuperci dispun de sisteme enzimactice capabile să degradeze structurile polimerice în condiții de mediu specifice. Ciupercile marine aparținând genului *Aspergillus*, de exemplu, au demonstrat eficiențe promițătoare de degradare a polietilenei și a polimerilor înrudiți, prin



producerea de enzime hidrolitice care facilitează descompunerea polimerilor [28]. Anumite specii de bacterii și ciuperci dispun de sisteme enzimatică capabile să degradeze structurile polimerice în condiții de mediu specifice. Ciupercile marine aparținând genului *Aspergillus*, de exemplu, au demonstrat eficiențe promițătoare de degradare a polietilenei și a polimerilor înrudiți prin producerea de enzime hidrolitice care facilitează descompunerea polimerilor [17,48]. Deși aceste tehnologii rămân în mare parte experimentale la scară operațională largă, ele reprezintă un domeniu promițător de cercetare și inovare pentru viitor.

2.4 Remedierea eutrofizării și a poluării cu nutrienți

Distrugerea instalațiilor de epurare a apelor uzate, a rețelilor de canalizare și a infrastructurii industriale în timpul conflictelor armate duce adesea la deversări substanțiale de nutrienți în mediile costiere și marine [15]. Concentrațiile ridicate de azot și fosfor stimulează creșterea excesivă a algelor, ceea ce duce la procese de eutrofizare caracterizate prin epuizarea oxigenului, pierderea biodiversității, episoade de mortalitate a peștilor și deteriorarea calității apei [20].

Măsurile de remediere fizică sunt aplicate în mod obișnuit pentru a restabili concentrațiile de oxigen dizolvat și pentru a îmbunătăți circulația apei în corpurile de apă afectate. Tehnologii precum aerarea artificială și oxigenarea hipolimnetică sporesc disponibilitatea oxigenului și atenuează condițiile de hipoxie, contribuind astfel la refacerea ecosistemului [20]. În anumite situații, se poate recurge și la dragarea sedimentelor pentru a îndepărta sedimentele bogate în nutrienți, care acționează ca surse interne de nutrienți pe termen lung.

Metodele de tratare chimică vizează reducerea biodisponibilității nutrienților prin procese de precipitare și adsorbție. Diverși coagulanți și floculanți pot lega fosforul și alți nutrienți în compuși insolubili, care sunt apoi eliminați din mediul acvatic. Deși aceste metode pot duce la reduceri rapide ale concentrațiilor de nutrienți, este necesară o gestionare atentă pentru a evita consecințele ecologice nedorite asociate cu adăugarea substanțelor chimice [20].



Soluțiile biologice și bazate pe natură reprezintă din ce în ce mai mult strategii preferate de remediere, datorită capacității lor de a oferi simultan multiple beneficii pentru mediu. Zonele umede artificiale, sistemele de cultivare a macroalgelor, proiectele de refacere a pajiștilor marine și intervențiile de inginerie ecologică pot elimina în mod eficient excesul de nutrienți, contribuind în același timp la recuperarea habitatelor, la conservarea biodiversității și la atingerea obiectivelor de sechestrare a carbonului [20]. Integrarea acestor abordări în cadrul unor programe mai ample de refacere a ecosistemelor contribuie în mod semnificativ la reziliența pe termen lung a mediului.

2.5 Remedierea metalelor grele prin metode fizice, chimice, biologice și bazate pe nanotehnologie

Contaminarea cu metale grele reprezintă una dintre cele mai persistente provocări de mediu asociate conflictelor armate, deoarece metalele nu se degradează în mod natural și pot rămâne prezente în mediu pentru perioade îndelungate. Activitățile militare pot introduce cantități substanțiale de plumb, cadmiu, crom, mercur, cupru, nichel și zinc în ecosistemele marine prin intermediul reziduurilor de muniție, al infrastructurii avariate, al accidentelor industriale și al resturilor militare [24].

Printre tehnologiile de remediere fizică, dragarea sedimentelor rămâne una dintre cele mai utilizate metode pentru îndepărtarea materialelor puternic contaminate [22,35]. Această abordare poate reduce rapid cantitățile de contaminanți din zonele afectate și poate diminua semnificativ riscurile de mediu. Cu toate acestea, operațiunile de dragare trebuie gestionate cu atenție pentru a preveni resuspensia sedimentelor și dispersia secundară a contaminanților. În plus, gestionarea pe termen lung și eliminarea sedimentelor contaminate reprezintă adesea provocări logistice și economice majore [22].

Tehnologiile de remediere chimică urmăresc reducerea mobilității și a biodisponibilității contaminanților prin procese de stabilizare și imobilizare. Tehnici precum stabilizarea fosfatului, electrocoagularea, acoperirea reactivă și tratamentele de solidificare pot transforma în mod eficient speciile metalice dizolvate în forme mai stabile și mai puțin biodisponibile



[21]. Aceste abordări sunt deosebit de avantajoase în zonele sensibile din punct de vedere ecologic, unde îndepărtarea sedimentelor la scară largă ar putea să nu fie fezabilă.

Metodele de remediere biologică au atras o atenție considerabilă datorită impactului lor relativ redus asupra mediului și sustenabilității pe termen lung [18]. Strategiile de biostimulare și bioaugmentare utilizează comunități microbiene capabile să transforme, să imobilizeze sau să acumuleze metale grele în condiții controlate. În mod similar, abordările de fitoremediere utilizează vegetația acvatică, costieră și din mlaștinile sărate pentru a absorbi contaminanții prin sistemele lor radiculare sau pentru a stabiliza sedimentele contaminate în medii cu salinitate ridicată. Speciile halofite, precum *Spartina alterniflora* (iarba mlaștinilor sărate) [38], și macrofitele marine submersibile, precum *Zostera marina* (iarba de anghilă) [38,46], au demonstrat capacități semnificative de fitoextracție și rizofiltrare pentru eliminarea cadmiului, plumbului, cromului și a altor metale periculoase din estuare și din ecosistemele marine costiere [36].

Progresele recente din domeniul nanotehnologiei au extins și mai mult posibilitățile de remediere. Particulele de fier zero-valent la scară nanometrică, nanotuburile de carbon, compozitele pe bază de grafen și nanomaterialele sintetizate prezintă o reactivitate și capacități de adsorbție excepțional de ridicate, permițând eliminarea eficientă atât a contaminanților anorganici, cât și a celor organici [23,25]. Deși implementarea lor la scară largă se află încă în fază de evaluare, aceste tehnologii oferă un potențial considerabil pentru viitoare aplicații de remediere în scenarii complexe de contaminare legate de conflicte.



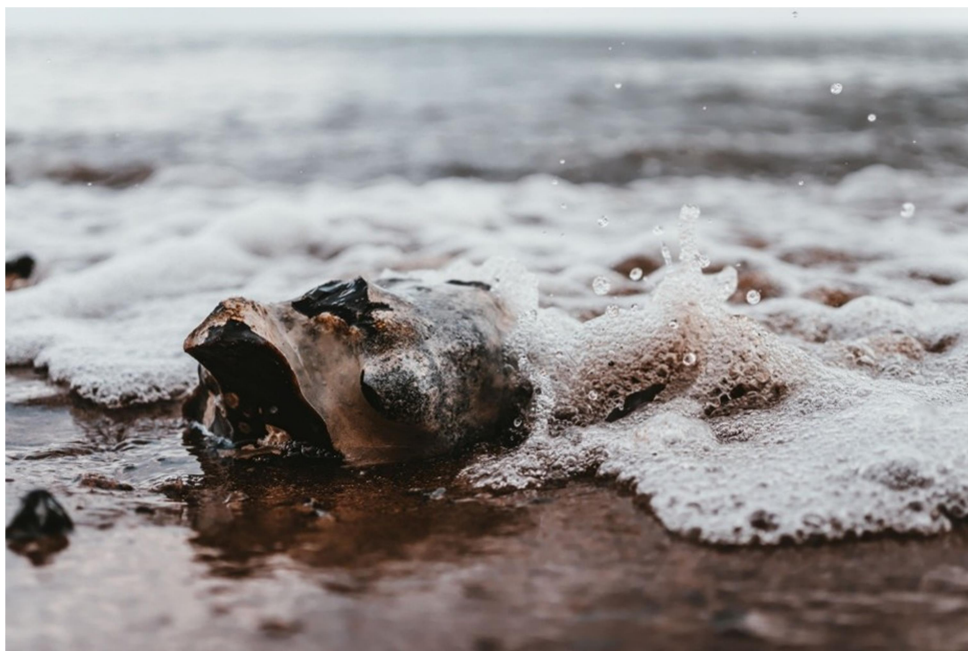


Figura 2: Mecanismul de mobilizare a deșeurilor de pe țărm. Acțiunea continuă a valurilor erodează deșeurile industriale și militare, eliberând metale grele direct în coloana de apă marină. Sursă: Pexels

2.6 Contaminanți emergenți, reziduuri de explozivi și riscuri radiologice

Conflictele armate moderne generează clase de contaminanți care sunt adesea trecuți cu vederea în cadrul măsurilor convenționale de remediere marină [3,37]. Reziduurile explozive provenite din muniția militară, inclusiv compuși precum TNT, RDX și HMX, pot persista în sedimentele marine și pot prezenta riscuri ecologice pe termen lung. În mod similar, substanțele chimice din propulsori, produsele secundare ale arderii, lubrifianții și compușii industriali specifici domeniului militar pot contribui la profiluri complexe de contaminare care necesită abordări specializate de evaluare și remediere [3]. Evaluările de teren efectuate de-a lungul coastei românești a Mării Negre confirmă faptul că muniția și explozivii reprezintă o sursă semnificativă de metale grele, precum plumbul, cuprul, zincul și cadmiul, fiind propuse modele cantitative de bilanț de masă pentru a sprijini evaluarea preliminară a încărcăturilor de poluanți din apele de coastă afectate de conflicte [50].

Alte motive de îngrijorare decurg din posibila eliberare de materiale radioactive în urma unor atacuri asupra instalațiilor nucleare, a instalațiilor industriale sau a infrastructurii



de depozitare a deșeurilor radioactive [37]. Astfel de scenarii de contaminare necesită programe de monitorizare extrem de specializate, evaluări radiologice, măsuri de izolare și supravegherea mediului pe termen lung. Deoarece comportamentul contaminanților, toxicitatea și persistența lor în mediu variază substanțial de la o substanță la alta, strategiile de remediere trebuie elaborate de la caz la caz și susținute de expertiză multidisciplinară [5,37].

2.7 Monitorizarea pe termen lung și verificarea performanței

Eficacitatea programelor de remediere depinde, în ultimă instanță, de implementarea unor sisteme solide de monitorizare, capabile să verifice refacerea mediului și să identifice riscurile de contaminare reziduală [9,10]. Monitorizarea pe termen lung ar trebui să cuprindă indicatori fizici, chimici și biologici, inclusiv parametri ai calității apei, compoziția chimică a sedimentelor, biodisponibilitatea contaminanților, indicatori ai stării ecologice și evaluări ale biodiversității [24]. Monitorizarea hidrografică prin profilarea CTD/SVP a demonstrat, de asemenea, că stratificarea sezonieră puternică din apele de coastă ale Mării Negre, cum ar fi în rada Portului Constanța, poate reduce substanțial amestecarea verticală și poate crește timpul de retenție a contaminanților în stratul de suprafață, subliniind importanța luării în considerare a stratificării coloanei de apă la interpretarea datelor de monitorizare pe termen lung [51].

Progresele tehnologice au îmbunătățit semnificativ capacitățile de monitorizare prin integrarea observațiilor satelitare, a rețelelor de senzori autonomi, a platformelor de teledetecție și a sistemelor de date de mediu în timp real [10]. Aceste tehnologii facilitează supravegherea continuă a mediului și permit detectarea rapidă a evenimentelor de contaminare emergente.

Evaluarea performanței ar trebui să fie corelată cu obiective de refacere ecologică clar definite și cu indicatori de mediu măsurabili. Cadrele de gestionare adaptativă permit modificarea strategiilor de remediere în funcție de rezultatele monitorizării, asigurând îmbunătățirea continuă și maximizând probabilitatea atingerii obiectivelor de refacere a mediului pe termen lung [1,9]. În consecință, monitorizarea nu ar trebui considerată etapa finală a remedierii, ci mai degrabă o componentă integrală a unui proces continuu de gestionare a mediului care susține refacerea durabilă a ecosistemului.



CAPITOLUL 3

EVALUAREA STRATEGICĂ ȘI RĂSPUNSUL URGENT LA POLUAREA PRODUSĂ DE CONFLICTUL ARMAT

3.1 Analiza vectorilor de poluare generați de conflicte în Marea Neagră

Conflictul actual dintre Rusia și Ucraina a generat o criză ecologică majoră care afectează ecosistemele marine din Marea Neagră, cu consecințe care depășesc cu mult efectele umanitare imediate. Activitățile militare introduc multiple căi de degradare a mediului, care interacționează între ele și amenință integritatea ecologică a bazinului pe termen lung [3,15,39,40]. Spre deosebire de sursele convenționale de poluare, contaminarea legată de conflict se caracterizează prin eliberarea simultană de factori de stres fizici, chimici și biologici pe scări spațiale extinse și în condiții extrem de dinamice [16].

Marea Neagră este deosebit de vulnerabilă datorită morfologiei sale semiînchise, schimbului limitat de apă și presiunilor de mediu preexistente, precum eutrofizarea și poluarea industrială [14,42]. Aceste caracteristici favorizează persistența și acumularea contaminanților, care se pot răspândi dincolo de granițele naționale și pot produce efecte cumulative pe termen lung [13,42].

Operațiunile militare contribuie în mod direct la poluarea marină prin eliberarea de deșeuri, reziduuri de combustibil, metale grele, resturi de explozivi și materiale sintetice. Confruntările navale, scufundările de nave și detonările subacvatice generează, de asemenea, poluare acustică, care poate perturba fauna marină și procesele ecosistemice [15,41]. În plus, materialele militare scufundate pot deveni surse secundare de poluare pe termen lung prin coroziune și eliberarea treptată a contaminanților.

Deteriorarea infrastructurii industriale și energetice reprezintă o altă cale importantă de contaminare. Distrugerea rafinăriilor, a instalațiilor de depozitare, a fabricilor chimice și a rețelelor de transport poate conduce la eliberarea hidrocarburilor, solvenților, metalelor grele și a produșilor secundari de ardere în sistemele fluviale și costiere [3,39]. Aceste substanțe se



Co-funded by the
European Union

Finanțat de Uniunea Europeană. Opiniile și punctele de vedere exprimate aparțin exclusiv autorului/autorilor și nu reflectă în mod necesar poziția Uniunii Europene sau a Agenției Executive Europene pentru Climă, Infrastructură și Mediu (CINEA). Nici Uniunea Europeană și nici autoritatea finanțatoare nu pot fi considerate responsabile pentru acestea

pot acumula în sedimente și pot pătrunde în rețelele trofice marine prin procese de bioacumulare [24].

În mod similar, perturbarea sistemelor de tratare a apelor uzate și a rețelelor urbane de drenaj determină creșterea deversării efluenților netratați în mediile acvatice, conducând la îmbogățirea cu nutrienți, răspândirea agenților patogeni, apariția condițiilor hipoxice și accentuarea degradării ecologice [15,20]. Conflictul a afectat, de asemenea, activitățile de pescuit și cele maritime din întreaga regiune, modificând accesul la zonele de pescuit, deteriorând infrastructura portuară și amplificând riscurile de navigație ca urmare a pericolelor asociate activităților militare [43]. Aceste perturbări afectează nu doar stabilitatea economică, ci și dinamica ecosistemelor, prin modificări ale presiunii exercitate de pescuit și ale distribuției resurselor. În ansamblu, efectul combinat al acestor surse de poluare evidențiază necesitatea unor cadre integrate de evaluare a mediului, capabile să abordeze simultan factori de stres multipli. Prin urmare, gestionarea eficientă trebuie să depășească abordările bazate pe analiza unui singur poluant și să se concentreze asupra efectelor cumulative și interactive ale degradării ecosistemelor generate de conflicte [3,15,40].

3.2 Evaluarea riscului ecologic și prioritizarea zonelor cu nivel ridicat de poluare

Având în vedere amploarea și complexitatea daunelor asupra mediului asociate conflictelor armate, resursele destinate remedierii trebuie alocate pe baza unor criterii de prioritizare justificate științific [9,10,35]. Prin urmare, evaluarea riscului ecologic reprezintă fundamentul tuturor activităților de planificare a remedierii mediului în perioada post-conflict.

Obiectivul principal al evaluării riscului ecologic este identificarea locațiilor în care contaminarea reprezintă cea mai mare amenințare pentru sănătatea umană, integritatea ecologică, activitățile economice și securitatea mediului [10,35]. Acest proces necesită integrarea datelor provenite din monitorizarea contaminanților, evaluările sensibilității ecologice, analiza căilor de expunere și considerarea factorilor socioeconomi. Caracterizarea inițială a siturilor trebuie să se concentreze pe identificarea surselor de contaminare, a tipurilor de poluanți, a compartimentelor de mediu afectate și a rutelor potențiale de expunere. Analizele calității apei, investigațiile sedimentelor, evaluările habitatelor și modelarea



transportului contaminanților trebuie realizate ori de câte ori condițiile de securitate permit desfășurarea activităților de teren [10,35]. În situațiile în care accesul direct rămâne restricționat, tehnologiile de teledetecție și sistemele autonome de monitorizare pot furniza informații preliminare valoroase privind starea mediului [9].

O atenție deosebită trebuie acordată zonelor sensibile din punct de vedere ecologic, inclusiv zonelor umede, estuarelor, zonelor de reproducere, ariilor marine protejate, pajiștilor de iarbă marină și zonelor cu biodiversitate ridicată [41,42]. Contaminarea produsă în astfel de medii poate genera consecințe ecologice disproporționat de severe și, prin urmare, necesită o prioritate mai mare în cadrul acțiunilor de remediere. Cadrele de clasificare a riscului trebuie să evalueze gravitatea contaminării pe baza mai multor criterii, incluzând toxicitatea contaminanților, persistența, mobilitatea, sensibilitatea ecologică, expunerea populației și potențialul de propagare a efectelor transfrontaliere [10,35]. Zonele caracterizate prin concentrații ridicate de contaminanți, degradarea extinsă a habitatelor și căi semnificative de expunere umană trebuie clasificate drept zone critice de intervenție, care necesită aplicarea imediată a măsurilor de răspuns.

Utilizarea Sistemelor Informatice Geografice, a cartografierii sensibilității ecologice și a instrumentelor de analiză multicriterială a deciziilor poate îmbunătăți semnificativ procesele de prioritizare prin integrarea variabilelor de natură ecologică, socială, economică și operațională într-un cadru unitar de evaluare [10,41]. Astfel de abordări facilitează luarea transparentă a deciziilor și sprijină alocarea eficientă a resurselor limitate destinate remedierii. Evaluarea riscului ecologic nu trebuie considerată un proces unic, ci mai degrabă o procedură iterativă, actualizată continuu pe baza datelor de monitorizare și a investigațiilor științifice. Această abordare adaptivă permite autorităților să ajusteze prioritățile pe măsură ce condițiile de mediu evoluează și devin disponibile noi informații [1].

3.3 Protocoale pentru monitorizarea de urgență și răspunsul la distanță

Zonele de conflict activ prezintă provocări semnificative pentru activitățile de monitorizare și remediere a mediului, din cauza constrângerilor de securitate, a accesului limitat și a condițiilor operaționale aflate în continuă schimbare [3,39]. În consecință, sistemele de



răspuns în situații de urgență trebuie să se bazeze tot mai mult pe tehnologii de monitorizare la distanță și pe capacități autonome de intervenție.

Implementarea unor rețele integrate de monitorizare constituie o componentă esențială a managementului situațiilor de urgență de mediu. Sistemele moderne de monitorizare combină observații satelitare, platforme de supraveghere aeriană, vehicule autonome de suprafață, drone subacvatice, geamanduri echipate cu senzori și tehnologii de transmitere a datelor în timp real pentru a furniza informații continue privind starea mediului [9,10]. Aceste sisteme permit identificarea rapidă a zonelor cu nivel ridicat de poluare, a căilor de transport ale contaminanților și a amenințărilor emergente la adresa mediului.

Monitorizarea prin satelit s-a dovedit deosebit de valoroasă pentru detectarea deversărilor de petrol, a penelor de sedimente în suspensie, a înfloririlor algale, a anomaliilor termice și a deteriorării infrastructurii pe suprafețe geografice extinse [10]. Progresele în domeniul tehnologiei radarului cu apertură sintetică (SAR) și al imagisticii multispectrale permit autorităților de mediu să monitorizeze evenimentele de poluare marină chiar și în condiții meteorologice nefavorabile sau în zone inaccesibile personalului din teren.

Tehnologiile autonome și cele operate de la distanță joacă un rol din ce în ce mai important în managementul mediului în perioada postconflict. Vehiculele autonome de suprafață și vehiculele subacvatice operate de la distanță pot colecta probe de mediu, inspecta infrastructura submersă, identifica resturile de echipamente militare și evalua distribuția contaminanților fără a expune personalul unor riscuri inacceptabile [9]. Aceste tehnologii sunt deosebit de utile în zonele afectate de mine navale, muniții neexplodate sau activități militare aflate încă în desfășurare.

Protocoloalele de intervenție în situații de urgență trebuie să acorde prioritate măsurilor destinate prevenirii dispersiei contaminanților și reducerii efectelor ecologice imediate. Implementarea rapidă a barierelor de retenție, a sistemelor temporare de stocare, a echipamentelor plutitoare pentru recuperarea poluanților și a unităților mobile de tratare a apelor uzate poate reduce semnificativ impactul asupra mediului în fazele inițiale ale evenimentelor de contaminare [8,29]. Intervenția timpurie este deosebit de importantă în



mediile costiere, unde procesele de transport al contaminanților pot afecta rapid habitatele sensibile și zonele populate.

Eficiența operațiunilor de răspuns în situații de urgență depinde în mare măsură de comunicarea și coordonarea dintre autoritățile de mediu, structurile de management al situațiilor de urgență, organizațiile militare, instituțiile de cercetare și partenerii internaționali [3,40]. Dezvoltarea unor platforme interoperabile de monitorizare și implementarea unor proceduri standardizate de raportare pot îmbunătăți considerabil eficiența intervențiilor și pot facilita schimbul de informații între diferite jurisdicții.



Figura 3: Monitorizare în teren și prelevare de probe de apă. Un inginer de mediu înregistrează date în timp real în timp ce analizează o probă de apă dintr-un corp de apă stagnant, eutrofizat. Sursă: Pexels.

3.4 Reconstrucția durabilă în perioada post-conflict și restaurarea ecosistemelor

Pe măsură ce intensitatea ostilităților active se reduce, prioritățile de mediu se deplasează de la intervenția în situații de urgență către recuperarea pe termen lung și reconstrucția durabilă [3,8]. Etapa post-conflict oferă o oportunitate esențială pentru reconstruirea infrastructurii afectate, concomitent cu îmbunătățirea performanței de mediu, a rezilienței climatice și a protecției ecosistemelor. Procesul de reconstrucție ar trebui să urmeze principiul „Build Back Better” („Reconstruire mai bună”), integrând sustenabilitatea mediului în toate etapele de planificare și proiectare [8]. Infrastructura costieră, porturile, sistemele de tratare a apelor uzate, facilitățile industriale și rețelele de transport ar trebui reproiectate în conformitate cu



standardele moderne de mediu, astfel încât să reducă riscurile viitoare de poluare și să sporească reziliența la factorii de stres asupra mediului.

Restaurarea mediului trebuie să depășească simpla îndepărtare a contaminanților și să includă refacerea structurii și funcțiilor ecosistemelor. Restaurarea habitatelor din zonele umede, pajiștile de iarbă marină, lagunele costiere, estuare și zonele de reproducere poate accelera refacerea ecologică, sprijinind totodată biodiversitatea și serviciile ecosistemice, precum sechestrarea carbonului, stabilizarea liniei țărmului și susținerea resurselor piscicole [1,41].

Soluțiile bazate pe natură ar trebui prioritizate ori de câte ori este posibil. Abordări precum bioremedierea, fitoremedierea, ingineria ecologică și liniile de țărm vii (*living shorelines*) oferă alternative sau soluții complementare eficiente din punct de vedere al costurilor și reziliente față de metodele convenționale de inginerie [1,20,23]. Integrarea acestora cu metodele tehnice de remediere este considerată din ce în ce mai frecvent o bună practică în restaurarea sistemelor costiere degradate.

Dimensiunile socioeconomice sunt, de asemenea, esențiale. Gestionarea durabilă a pescuitului, educația ecologică, implicarea factorilor interesați și monitorizarea bazată pe comunitate contribuie la consolidarea sistemelor de guvernanță și la îmbunătățirea sustenabilității pe termen lung a eforturilor de restaurare [43]. În cele din urmă, recuperarea eficientă în perioada post-conflict depinde de implementarea cadrelor juridice internaționale și a mecanismelor de cooperare regională [5,6,13]. Având în vedere caracterul transfrontalier al poluării marine din Marea Neagră, politicile coordonate, sistemele comune de monitorizare și colaborarea științifică și instituțională susținută sunt esențiale pentru prevenirea recontaminării și asigurarea unei refaceri durabile a mediului. În ansamblu, restaurarea cu succes a mediilor marine afectate de conflicte necesită nu doar măsuri tehnice de remediere, ci și o guvernanță solidă, cooperare internațională și un angajament instituțional pe termen lung pentru sustenabilitatea mediului.



CAPITOLUL 4

CADRUL DE PRIORITIZARE AL RISCURILOR ȘI DE LUARE A DECIZIILOR PENTRU POLUAREA MARINĂ ASOCIATĂ CONFLICTELOR

4.1 Caracterizarea siturilor și evaluarea condițiilor de referință ale mediului

Eficiența oricărui program de remediere depinde de realizarea unei evaluări inițiale solide a mediului. Înainte de selectarea tehnologiilor sau alocarea resurselor, autoritățile trebuie să dezvolte o înțelegere clară a condițiilor sitului, distribuției contaminanților, sensibilității ecologice și căilor de expunere [44,45]. În mediile marine afectate de conflicte, unde multiple surse de poluare acționează simultan pe suprafețe extinse și eterogene, este esențială o abordare multidisciplinară care să integreze date fizice, chimice, biologice și socioeconomice [3,15,39].

Caracterizarea siturilor începe cu identificarea surselor de contaminare și a tipurilor de poluanți, incluzând instalații industriale deteriorate, infrastructură militară, nave scufundate, depozite de combustibili, sisteme de ape uzate, rețele de transport și zone cu acumulări de deșeuri [3,15]. O atenție deosebită trebuie acordată siturilor cu risc ridicat, care conțin materiale periculoase cu persistență pe termen lung în mediu. Investigațiile de mediu trebuie să cuantifice ulterior nivelurile contaminanților în apă, sedimente și biotă, făcând distincția între zonele de impact primar și ariile afectate prin procese de transport hidrodinamic al contaminanților [10,35]. În situațiile cu acces limitat pentru activități de teren, teledetecția și modelarea predictivă oferă un sprijin esențial pentru evaluările preliminare [9].

Condițiile ecologice de referință trebuie, de asemenea, evaluate pentru a determina vulnerabilitatea ecosistemelor și potențialul de refacere. Cartografierea habitatelor, evaluările biodiversității, datele privind activitățile piscicole și analizele serviciilor ecosistemice contribuie la clarificarea consecințelor extinse ale degradării mediului, în special în situațiile în care impacturile generate de conflicte se suprapun peste presiuni preexistente [41,42]. Integrarea datelor de mediu și socioeconomice permite identificarea zonelor în care contaminarea poate avea implicații semnificative asupra sănătății publice, securității alimentare și stabilității economice. Această abordare asigură faptul că planificarea acțiunilor de remediere sprijină atât refacerea ecologică, cât și reziliența regională pe termen lung [43,49].



Co-funded by the
European Union

Finanțat de Uniunea Europeană. Opiniile și punctele de vedere exprimate aparțin exclusiv autorului/autorilor și nu reflectă în mod necesar poziția Uniunii Europene sau a Agenției Executive Europene pentru Climă, Infrastructură și Mediu (CINEA). Nici Uniunea Europeană și nici autoritatea finanțatoare nu pot fi considerate responsabile pentru acestea

4.2 Clasificarea riscului ecologic și ierarhizarea priorităților

Având în vedere resursele financiare, tehnice și operaționale limitate disponibile în mod obișnuit în timpul procesului de recuperare post-conflict, intervențiile de mediu trebuie prioritizate pe baza unor criterii obiective și transparente [44,45]. Prioritizarea bazată pe risc oferă un mecanism sistematic pentru direcționarea resurselor către zonele în care activitățile de remediere vor genera cele mai mari beneficii ecologice și sociale. Risc de mediu trebuie evaluat în funcție de gradul de pericolozitate al contaminanților, probabilitatea expunerii, sensibilitatea ecologică și consecințele potențiale [44]. Contaminanții cu toxicitate ridicată și persistență îndelungată, precum metalele grele, hidrocarburile petroliere, reziduurile explozive și substanțele radioactive, necesită în general un nivel ridicat de prioritate datorită persistenței lor pe termen lung în mediu și capacității de bioacumulare [24,31,37].

Sensibilitatea ecologică reprezintă o a doua componentă esențială a evaluării riscului. Contaminarea produsă în zone umede, estuare, arii marine protejate, pajiști de iarbă marină, zone de reproducere sau puncte cu biodiversitate ridicată trebuie să primească o prioritate mai mare comparativ cu impacturile asupra unor medii mai puțin sensibile [41,42]. Deteriorarea acestor habitate generează frecvent efecte ecologice în cascadă, care se extind mult dincolo de zona imediată de contaminare. Trebuie luate în considerare și căile de expunere umană. Zonele în care contaminarea amenință sursele de apă potabilă, resursele piscicole, activitățile recreaționale sau comunitățile costiere pot necesita intervenții urgente chiar și atunci când efectele ecologice rămân relativ localizate [44,49]. Această abordare recunoaște interdependența puternică dintre calitatea mediului și bunăstarea umană.

Pentru facilitarea procesului decizional operațional, siturile contaminate pot fi încadrate în patru categorii de prioritate. Siturile cu risc critic sunt reprezentate de locațiile în care contaminarea generează amenințări imediate asupra sănătății umane, securității mediului sau integrității ecosistemelor. Siturile cu risc ridicat se caracterizează prin niveluri importante de contaminare și efecte ecologice considerabile, însă nu necesită întotdeauna intervenții de urgență imediate. Siturile cu risc moderat prezintă forme cuantificabile de degradare a mediului, care pot fi gestionate prin programe de remediere planificate, în timp ce siturile cu risc scăzut pot fi abordate prin strategii bazate pe monitorizare și valorificarea proceselor naturale de recuperare ecologică [44,45]. Aplicarea unor sisteme standardizate de clasificare a riscului contribuie la creșterea transparenței, facilitează alocarea eficientă a resurselor și



îmbunătățește comunicarea dintre instituțiile guvernamentale, organizațiile internaționale și factorii tehnici implicați [47].

4.3 Cadru de sprijin pentru luarea deciziilor privind selectarea tehnologiilor de remediere

După clasificarea riscului, factorii de decizie trebuie să identifice tehnologii de remediere capabile să atingă obiectivele de mediu, menținând în același timp fezabilitatea tehnică și sustenabilitatea economică [1,35]. Deoarece contaminarea asociată conflictelor implică, de obicei, multiple categorii de poluanți și compartimente de mediu, selectarea tehnologiilor trebuie să urmeze un cadru structurat de suport decizional, în loc să se bazeze exclusiv pe evaluarea individuală a experților. Primul punct de decizie constă în stabilirea necesității unei intervenții imediate. Siturile care prezintă riscuri acute de contaminare, eliberări active de poluanți sau căi semnificative de expunere necesită, în general, măsuri de izolare de urgență menite să prevină dispersia contaminanților [8,29]. Intervențiile tipice pot include bariere plutitoare de izolare, baraje temporare, sisteme de deviere a apelor uzate și operațiuni de recuperare în situații de urgență.

După stabilizarea riscurilor imediate, autoritățile trebuie să determine dacă remedierea activă sau recuperarea naturală monitorizată reprezintă cea mai adecvată strategie de gestionare. Remedierea activă este, în general, justificată atunci când concentrațiile contaminanților depășesc limitele de reglementare, degradarea ecologică este severă sau procesele naturale de atenuare nu sunt susceptibile să conducă la o refacere acceptabilă într-un interval de timp rezonabil [35]. Selectarea tehnologiilor specifice de remediere trebuie să ia în considerare caracteristicile contaminanților, condițiile de mediu, constrângerile operaționale, gradul de maturitate tehnologică și obiectivele de sustenabilitate pe termen lung (a se vedea Tabelul 1) [1]. Tehnologiile fizice pot fi preferate atunci când este necesară îndepărtarea rapidă a contaminanților, în timp ce abordările biologice și cele bazate pe natură pot oferi o sustenabilitate mai ridicată pentru eforturile de restaurare pe termen lung. În multe situații, sistemele hibride de remediere, care combină mai multe tehnologii, oferă cea mai eficientă soluție [1,23].



Tabel 1: Tehnologii de remediere a contaminatilor marini asociati conflictelor armate

Tehnologie	Obiectiv primar	Cost Relativ	Durată estimată	Grad de dezvoltare tehnic	Avantaje	Limitare
Colectare și reținere mecanică (baraje plutitoare, skimmere)	Petrol / hidrocarburi	Redus-moderat	Imediat (ore-zile)	Bine stabilit	Fără adaos de substanțe chimice; răspuns inițial sigur	Dependent de condițiile meteorologice și starea mării; nu captează fracția dizolvată
Chimicale dispersate	Petrol / hidrocarburi	Redus	Imediat (ore)	Bine stabilit dar reglementat	Reducerea rapidă a riscului pentru zona costieră	Dezbateri privind ecotoxicitatea; transferă contaminantul în coloana de apă
Bioremediere (biostimulare / bioaugmentare)	Hidrocarburi/ anumite metale	Redus-moderat	Mediu-lung (săptămâni-luni+)	Ridicat pentru petrol; mai redus pentru metale	Impact secundar redus; sustenabil	Lent; puternic dependent de temperatură, oxigen și nutrienți
Dragarea sedimentelor	Metale grele, sedimente contaminate	Ridicat	Termen scurt-mediu (săptămâni-luni)	Ridicat – aplicat pe scară largă	Îndepărtarea rapidă a încălcăturii de contaminanți	Risc de resuspensie a sedimentelor; costuri ridicate de eliminare și transport
Stabilizare chimică/acoperirea reactivă	Metale grele	Mediu-Ridicat	Termen mediu (luni)	Tehnologie consacrată, cu utilizare în creștere	La locul contaminării; evită excavarea pe scară largă	Contaminantul rămâne prezent; necesită monitorizare pe termen lung
Fitoremediere	Metale grele (absorbite de vegetație)	Scăzut	Lung (luni-ani)	Demonstrată în apă dulce/estuare	Cost redus; beneficii suplimentare pentru habitat	Lent; scară limitată; constrângeri privind toleranța la salinitate
Remediere prin nanotehnologie	Metale grele și compuși organici	Ridicat (în momentul de față)	În derulare/ Fază experimentală	Scăzut-moderat – în principal la scară pilot	Reactivitate/capacitate de adsorbție foarte ridicată	Validare limitată la scară largă; costuri; efecte ecologice necunoscute
Îndepărtare fizică și bariere	Materiale plastice marine/ deșeuri	Scăzut-moderat	Imediate- în derulare	Nivel ridicat de dezvoltare	Îndepărtare directă; previne fragmentarea	Necesitatea unei întrețineri continue și a unor sisteme pentru gestionarea deșeurilor
Crearea unor sisteme naturale pentru remediere	Nutrienți/ eutrofizare	Scăzut-moderat	Termen mediu-lung (luni-ani)	Dovedită pentru apele uzate; în dezvoltare pentru mediile costiere	Beneficii multiple asociate: habitat, carbon, biodiversitate	Cerințe privind suprafața disponibilă; proces mai lent comparativ cu tratamentul chimic

**Tabel 1: O comparație orientativă a principalelor familii de tehnologii de remediere a fost prezentată în Capitolul 2. Evaluările privind costurile, durata de implementare și nivelul de maturitate sunt calitative și relative, având rolul de a sprijini etapa inițială de selecție; studiile de fezabilitate specifice amplasamentului rămân necesare pentru luarea deciziilor la nivel de proiect.*



Analizele cost-beneficiu ar trebui integrate în evaluarea tehnologiilor ori de câte ori este posibil. Deși protecția mediului rămâne obiectivul principal, factorii de decizie trebuie să se asigure că investițiile în remediere generează îmbunătățiri cuantificabile ale stării mediului în raport cu costurile de implementare [47]. Această considerație devine deosebit de importantă în cadrul programelor de recuperare post-conflict de amploare, unde resursele financiare pot fi limitate.

Principiile managementului adaptativ trebuie să rămână elemente centrale pe parcursul întregului proces de selectare a tehnologiilor. Strategiile de remediere trebuie privite ca sisteme dinamice, capabile să evolueze ca răspuns la datele de monitorizare, progresele tehnologice și modificările condițiilor de mediu [1].

4.4 Monitorizarea mediului, indicatorii de performanță și managementul adaptativ

Monitorizarea mediului furnizează baza de dovezi necesară pentru evaluarea eficienței măsurilor de remediere și pentru sprijinirea procesului decizional adaptativ pe parcursul etapei de refacere [9,10]. În absența unor programe solide de monitorizare, autoritățile nu pot determina dacă obiectivele de restaurare sunt atinse sau nu pot identifica riscurile emergente pentru mediu care necesită intervenții suplimentare. Programele de monitorizare trebuie concepute în funcție de obiective clar definite și de indicatori de mediu măsurabili. Parametrii de calitate ai apei, chimia sedimentelor, biodisponibilitatea contaminanților, starea habitatelor, statutul biodiversității și funcționalitatea ecosistemelor reprezintă componente esențiale ale cadrelor complexe de monitorizare [24,41]. Frecvența monitorizării trebuie stabilită în funcție de caracteristicile contaminanților, sensibilitatea ecologică și obiectivele de management

Progresele tehnologice recente au extins semnificativ capacitățile de monitorizare a mediului. Observațiile satelitare, rețelele autonome de senzori, platformele de teledetecție, vehiculele fără pilot și sistemele de transmitere a datelor în timp real permit supravegherea continuă a unor suprafețe geografice extinse, reducând în același timp costurile operaționale și riscurile de expunere ale personalului [9,10]. Aceste tehnologii sunt deosebit de valoroase în regiunile afectate de conflicte, unde metodele convenționale de monitorizare pot fi limitate de dificultăți de acces și de restricții privind securitatea.



Evaluarea performanței trebuie corelată cu obiectivele de mediu prestabilite, definite în etapa de planificare a proiectului. Indicatorii pot include reducerea concentrațiilor de contaminanți, îmbunătățirea indicatorilor de biodiversitate, ratele de refacere a habitatelor, restaurarea serviciilor ecosistemice și diminuarea riscurilor asociate expunerii umane [1,41]. Utilizarea indicatorilor cantitativi de performanță sporește responsabilitatea procesului de gestionare și facilitează comparația între diferite programe de remediere.

Rezultatele monitorizării trebuie integrate direct în procesele de management adaptativ. În cazul în care obiectivele de performanță nu sunt atinse, strategiile de remediere pot necesita modificări prin aplicarea unor intervenții suplimentare, utilizarea unor tehnologii alternative sau revizuirea obiectivelor de management [45,46]. Acest proces iterativ permite autorităților de mediu să răspundă eficient incertitudinilor și să îmbunătățească în mod continuu rezultatele acțiunilor de restaurare.

4.5 Coordonarea instituțională și mecanismele de guvernare

Complexitatea poluării marine asociate conflictelor necesită o coordonare extinsă între multiple instituții care operează la nivel local, național, regional și internațional [3,5,49]. Programele de refacere a mediului implică frecvent agenții de mediu, autorități maritime, organizații de management al situațiilor de urgență, instituții științifice, factori implicați din domeniul militar, organizații internaționale și comunități locale. Cadrele eficiente de guvernare trebuie să stabilească roluri și responsabilități clare pentru toate entitățile participante. Mecanismele de coordonare trebuie să faciliteze schimbul de informații, cooperarea tehnică, alocarea resurselor financiare și procese decizionale armonizate [13,49]. Lipsa unor astfel de mecanisme conduce adesea la suprapunerea eforturilor, utilizarea inefficientă a resurselor și reducerea eficienței activităților de remediere.

Cooperarea regională are o importanță deosebită în cadrul sistemelor marine semiînchise, precum Marea Neagră. Deoarece contaminanții pot traversa cu ușurință granițele politice prin intermediul proceselor hidrodinamice, intervențiile naționale izolate sunt puțin probabil să asigure o refacere durabilă a mediului pe termen lung [13,42]. Programele comune de monitorizare, evaluările de mediu realizate în colaborare și strategiile coordonate de



remediere reprezintă, prin urmare, componente esențiale ale unei guvernante regionale eficiente. Organizațiile internaționale pot furniza expertiză tehnică valoroasă, sprijin financiar și suport instituțional în timpul proceselor de recuperare post-conflict [2,3,49]. Organizații precum UNEP, UNDP, Comisia Europeană, Banca Mondială și Comisia Mării Negre dețin o experiență vastă în evaluarea mediului, planificarea acțiunilor de remediere și restaurarea ecosistemelor, ceea ce le transformă în parteneri importanți pentru autoritățile naționale.

În cele din urmă, succesul procesului de refacere a mediului depinde nu doar de soluțiile tehnologice, ci și de capacitatea instituțională, angajamentul politic, implicarea factorilor interesați și stabilitatea guvernantei pe termen lung. Acești factori determină în mod colectiv dacă eforturile de remediere conduc la îmbunătățiri durabile ale stării mediului sau doar la reduceri temporare ale nivelurilor de contaminare [45,49].

4.6 Plan operațional pentru recuperarea mediului marin post-conflict

Cadrul propus în cadrul acestui document de orientare se concretizează într-o foaie de parcurs operațională alcătuită din șase etape, concepută pentru a sprijini autoritățile de mediu pe parcursul procesului de recuperare post-conflict (a se vedea Tabelul 2)

Prima etapă constă în realizarea unei evaluări rapide a mediului, având ca scop identificarea principalelor surse de contaminare, a riscurilor ecologice și a zonelor prioritare pentru intervenție. A doua etapă se concentrează pe evaluarea detaliată a mediului și clasificarea riscurilor, furnizând informațiile tehnice necesare pentru luarea deciziilor fundamentate științific. A treia etapă include măsuri de izolare de urgență destinate stabilizării contaminării și prevenirii degradării suplimentare a mediului. A patra etapă presupune implementarea tehnologiilor active de remediere, selectate în funcție de condițiile specifice ale sitului și de obiectivele de restaurare. A cincea etapă este axată pe restaurarea habitatelor și recuperarea ecosistemelor, prin integrarea soluțiilor bazate pe natură și a principiilor de sustenabilitate pe termen lung. În final, a șasea etapă constă în monitorizare continuă, management adaptativ și activități de consolidare instituțională, concepute pentru a asigura durabilitatea rezultatelor procesului de refacere a mediului [1,44,49].



Tabel 2. Plan operațional pentru recuperarea mediului marin post-conflict

Etapă	Nume	Obiective/Acțiuni necesare
1	Evaluare rapidă de mediu	Identificarea principalelor surse de contaminare, a riscurilor ecologice și a zonelor prioritare de intervenție.
2	Evaluare detaliată de mediu și clasificarea riscurilor	Generarea datelor pentru adoptarea unor decizii (caracterizarea amplasamentului, informații privind contaminarea, prioritizarea riscurilor).
3	Măsuri urgente de limitare a contaminării	Stabilizarea contaminării și prevenirea degradării suplimentare a mediului (baraje plutitoare, bariere de protecție, devierea apelor uzate, recuperare de urgență).
4	Tehnologii active de remediere	Implementarea tehnologiilor de remediere selectate în funcție de condițiile specifice amplasamentului și obiectivele de restaurare (fizice, chimice, biologice, hibride).
5	Restaurarea habitatelor și recuperarea ecosistemelor	Refacerea structurii și funcțiilor habitatelor prin integrarea soluțiilor bazate pe natură și a principiilor de sustenabilitate pe termen lung.
6	Monitorizare continuă, management adaptiv și consolidare instituțională	Asigurarea durabilității rezultatelor obținute în domeniul refacerii mediului prin monitorizare continuă, gestionare adaptativă și consolidarea capacităților de guvernare.

Acest document stabilește un traseu structurat și solid din punct de vedere științific, care leagă evaluarea de mediu, remedierea, refacerea și guvernarea într-un cadru unificat. Punerea sa în aplicare poate sprijini refacerea ecosistemelor marine afectate de conflicte, consolidând în același timp reziliența de mediu, cooperarea regională și securitatea ecologică pe termen lung.



CONCLUZII

Impactul conflictelor armate asupra mediului reprezintă o formă extrem de complexă de poluare marină, caracterizată prin eliberarea simultană a mai multor tipuri de contaminanți, perturbarea pe scară largă a habitatelor și condiții extrem de limitate de monitorizare și remediere. Acești factori generează consecințe ecologice pe termen lung și adesea transfrontaliere, care pot persista mult după încetarea ostilităților [2,3,15,42].

Acest ghid demonstrează că remedierea eficientă nu se poate baza pe tehnologii individuale sau intervenții izolate. În schimb, refacerea cu succes a mediilor marine afectate de conflicte necesită integrarea cadrelor juridice internaționale, a metodologiilor de evaluare bazate pe risc, a abordărilor de remediere care utilizează tehnologii multiple și a strategiilor de restaurare ecologică pe termen lung într-o structură operațională unitară [1,5,6]. Analiza cazului Mării Negre evidențiază vulnerabilitatea sistemelor marine semiînchise la presiuni cumulative de poluare generate de activități militare, deteriorarea infrastructurii industriale și colapsul rețelelor de infrastructură [3,15,42]. Aceste condiții subliniază importanța unei guvernante transfrontaliere coordonate și a unor sisteme comune de monitorizare pentru gestionarea riscurilor de mediu care depășesc limitele naționale.

Cadrul decizional prezentat în acest document oferă o abordare structurată pentru prioritizarea intervențiilor, selectarea tehnologiilor adecvate de remediere și asigurarea unui management adaptativ bazat pe date de monitorizare și indicatori de performanță ai mediului [44,45,49]. Această abordare bazată pe risc permite o alocare mai eficientă a resurselor, îmbunătățind în același timp eficiența și transparența eforturilor de restaurare.

În perspectivă, consolidarea sistemelor integrate de monitorizare a mediului, îmbunătățirea înțelegerii amestecurilor complexe de contaminanți și dezvoltarea tehnologiilor de remediere pentru poluanții emergenți rămân priorități esențiale. O atenție deosebită trebuie acordată reziduurilor explozive, microplasticelor și altor contaminanți persistenți asociați conflictelor militare moderne [23,37].

În cele din urmă, refacerea ecosistemelor marine afectate de conflicte necesită mai mult decât intervenții tehnice de remediere. Aceasta presupune o cooperare instituțională



Co-funded by the
European Union

Finanțat de Uniunea Europeană. Opiniile și punctele de vedere exprimate aparțin exclusiv autorului/autorilor și nu reflectă în mod necesar poziția Uniunii Europene sau a Agenției Executive Europene pentru Climă, Infrastructură și Mediu (CINEA). Nici Uniunea Europeană și nici autoritatea finanțatoare nu pot fi considerate responsabile pentru acestea

susținută, un angajament pe termen lung privind guvernarea mediului și integrarea protecției mediului în politicile mai largi de securitate și reconstrucție. Cadrul prezentat în acest document oferă un model transferabil pentru sprijinirea restaurării ecologice în regiunile marine afectate de conflicte armate și contribuie la consolidarea abordărilor globale privind securitatea mediului [4,49].



BIBLIOGRAFIE

- [1] **Vizureanu, P., Deák Gy., Kotelnikova, Y., Tiberiu, P., & Georgeta, T.** (2025). *State of the art remedial solutions database* (Deliverable No. T4.3/1; Version 2.0). Black Sea SIERRA Project Consortium.
https://drive.google.com/drive/u/1/folders/1D_MOqQ4djQcOvVYPFn8gXMsb96JZOFMI
- [2] **United Nations Environment Programme (UNEP).** (2009). *Protecting the Environment During Armed Conflict: An Inventory and Analysis of International Law*. Nairobi. https://ceobs.org/wp-content/uploads/2018/03/int_law.pdf
- [3] **Grygaski, T.** (2023) *Comprehensive Report on Ukraine Environmental Damage Assessments* [unpublished report], Informal inter-agency coordination group on environmental assessments for Ukraine.
https://unece.org/sites/default/files/2024-02/Comprehensive%20Report_Ukr%20Env%20Damage%20Assessments_IACG_Dec.%202023.pdf
- [4] **International Committee of the Red Cross (ICRC).** (2020). *Guidelines on the Protection of the Natural Environment in Armed Conflict*. Geneva.
https://www.icrc.org/sites/default/files/document_new/file_list/guidelines_on_the_protection_of_the_natural_environment_in_armed_conflict_advance-copy.pdf
- [5] **International Law Commission (ILC).** (2022). *Draft Principles on Protection of the Environment in Relation to Armed Conflicts*. United Nations.
https://legal.un.org/ilc/texts/instruments/english/commentaries/8_7_2022.pdf
- [6] **United Nations.** (1982). *United Nations Convention on the Law of the Sea (UNCLOS)*. 1833 U.N.T.S. 397.
https://www.un.org/depts/los/convention_agreements/texts/unclos/unclos_e.pdf
- [7] **Geneva Conventions.** (1977). *Geneva Conventions and Additional Protocol I*.
https://www.icrc.org/sites/default/files/external/doc/en/assets/files/other/icrc_002_0321.pdf
- [8] **World Bank.** (2025). *Ukraine Rapid Damage and Needs Assessment (RDNA4)*.
https://www.undp.org/sites/g/files/zskgke326/files/2025-02/ukraine_fourth_rapid_damage_and_needs_assessment_rdna4_february_2022_december_2024.pdf
- [9] **International Maritime Organization (IMO).** *Manual on Oil Pollution: Section IV Combatting Oil Spills*. <https://doi.org/10.62454/KA569E>
- [10] **National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA).** *Environmental Sensitivity Index Guidelines*.
https://response.restoration.noaa.gov/sites/default/files/ESI_Guidelines.pdf
- [11] **European Parliament and Council of the European Union.** (2008). *Directive 2008/56/EC of 17 June 2008 Establishing a Framework for Community Action in the Field of Marine Environmental Policy (Marine Strategy Framework Directive)*.
<https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2008/56/oj/eng>
- [12] **European Parliament and Council of the European Union.** (2000). *Directive 2000/60/EC (Water Framework Directive)*.



Co-funded by the
European Union

Finanțat de Uniunea Europeană. Opiniile și punctele de vedere exprimate aparțin exclusiv autorului/autorilor și nu reflectă în mod necesar poziția Uniunii Europene sau a Agenției Executive Europene pentru Climă, Infrastructură și Mediu (CINEA). Nici Uniunea Europeană și nici autoritatea finanțatoare nu pot fi considerate responsabile pentru acestea

- <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2000/60/oj/eng>
- [13] **Black Sea Commission.** (1992). Convention on the Protection of the Black Sea Against Pollution (Bucharest Convention).
<https://www.blackseacommission.org/Official%20Documents/The%20Convention/full%20text/>
- [14] **Black Sea Commission.** (2009). *Black Sea Strategic Action Plan*.
https://www.blackseacommission.org/Downloads/SAP2009_ver_09Apr09.pdf
- [15] **Shumilova, O., Tockner, K., Sukhodolov, A., Khilchevskyi, V., De Meester, L., Stepanenko, S., Trokhymenko, G., Hernández-Agüero, J. A., & Gleick, P.** (2023). Impact of the Russia–Ukraine armed conflict on water resources and water infrastructure. *Nature Sustainability*, 6, 578–586.
https://www.researchgate.net/publication/368926198_Impact_of_the_Russia-Ukraine_armed_conflict_on_water_resources_and_water_infrastructure_2023
- [16] **Hanson, T.** (2018). *Biodiversity Conservation and Armed Conflict: A warfare ecology perspective*.
https://www.researchgate.net/publication/324708554_Biodiversity_conservation_and_armed_conflict_A_warfare_ecology_perspective
- [17] **Ameen, F., Moslem, M., Hadi, S., & Al-Sabri, A.** (2015). Biodegradation of low density polyethylene (LDPE) by mangrove fungi from the Red Sea coast. *Progress in Rubber, Plastics and Recycling Technology*, 31(2), 125–144. doi.org
- [18] **Hassan, S., Sabreena, Khurshid, Z., Bhat, S. A., Kumar, V., Ameen, F., & Ganai, B. A.** (2022). Marine bacteria and omic approaches: A novel and potential repository for bioremediation assessment. *Journal of Applied Microbiology*, 133(4), 2299–2313. doi: 10.1111/jam.15711. Epub 2022 Jul 20. PMID: 35818751.
- [19] **Yanuar, A. T., Amin, A. A., Salamah, L. N., Sujadi, F. M., Wiratno, E. N., Dewi, C. S. U., & Kurniawan, A.** (2023). Oxygenase enzyme activity and compound profile in hydrocarbon bioremediation by *Pseudomonas aeruginosa* and *Rhodococcus erythropolis* consortium. *Jurnal Ilmiah Perikanan dan Kelautan*, 16, 106–118.
<https://e-journal.unair.ac.id/JIPK/article/view/45528/27791>
- [20] **Akinnawo, S. O.** (2023). Eutrophication: Causes, consequences, physical, chemical and biological techniques for mitigation strategies. *Environmental Challenges*, 12, Article 100733. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2023.100733>
- [21] **Porcino, N., Crisafi, F., Catalfamo, M., Denaro, R., & Smedile, F.** (2024). Electrokinetic remediation in marine sediment: A review and a bibliometric analysis. *Sustainability*, 16, 4616.
https://www.researchgate.net/publication/381031670_Electrokinetic_Remediation_in_Marine_Sediment_A_Review_and_a_Bibliometric_Analysis
- [22] **Pasciucco, F., Pecorini, I., Di Gregorio, S., Pilato, F., & Iannelli, R.** (2021). Recovery strategies of contaminated marine sediments: A life cycle assessment. *Sustainability*, 13, 8520.
<https://arpi.unipi.it/retrieve/e0d6c931-c705-fcf8-e053-d805fe0aa794/sustainability-13-08520%20%281%29.pdf>



- [23] **Kaul, I., & Sharma, J. G.** (2022). Nanotechnology for the bioremediation of organic and inorganic compounds in aquatic and marine ecosystems. *Journal of Applied Biology & Biotechnology*, 10(6), 22–33. <https://doi.org/10.7324/JABB.2022.100603>
- [24] **Vidyalakshmi, D., Yesudas, A., Sivan, G., Akhil Prakash, E., & Priyaja, P.** (2024). Heavy metal accumulation analysis using bivalve, sponge, sea urchin, and gastropod species as bioindicators. *Marine Pollution Bulletin*, 202, Article 116374. https://www.researchgate.net/publication/380034606_Heavy_metal_accumulation_analysis_using_bivalve_sponge_sea_urchin_and_gastropod_species_as_bioindicators
- [25] **Bernardeschi, M., Guidi, P., Palumbo, M., Genovese, M., Alfè, M., Gargiulo, V., Lucchesi, P., Scarcelli, V., Falleni, A., Bergami, E., et al.** (2021). Suitability of nanoparticles to face benzo(a)pyrene-induced genetic and chromosomal damage in *Mytilus galloprovincialis*: An *in vitro* approach. *Nanomaterials*, 11, 1309. https://www.researchgate.net/publication/351629912_Suitability_of_Nanoparticles_to_Face_Benzoapyrene-Induced_Genetic_and_Chromosomal_Damage_in_M_galloprovincialis_An_In_Vitro_Approach
- [26] **Sharma, S., & Chatterjee, S.** (2017). Microplastic pollution, a threat to marine ecosystem and human health: A short review. *Environmental Science and Pollution Research*, 24, 21530–21547. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-9910-8>
- [27] **Skirtun, M., Sandra, M., Strietman, W. J., van den Burg, S. W. K., De Raedemaeker, F., & Devriese, L. I.** (2022). Plastic pollution pathways from marine aquaculture practices and potential solutions for the North-East Atlantic region. *Marine Pollution Bulletin*, 174, Article 113178. [10.1016/j.marpolbul.2021.113178](https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.113178)
- [28] **Zeghal, E., Vaksmaa, A., Vielfaure, H., Gibson, H., & Niemann, H.** (2024). Environmental factors control microbial colonization of plastics in the marine environment. *Marine Pollution Bulletin*, 209, Article 117101.
- [29] **International Tanker Owners Pollution Federation (ITOPF).** (n.d.). *Technical Information Papers on Oil Spill Response*. London. <https://www.itopf.org/fileadmin/uploads/itopf/data/Documents/Papers/spillcon.pdf>
- [30] **Fingas, M.** (2012). *The Basics of Oil Spill Cleanup* (4th ed.). CRC Press. https://www.researchgate.net/publication/346058341_The_Basics_of_Oil_Spill_Cleanup
- [31] **National Research Council (NRC).** (2003). *Oil in the Sea III: Inputs, Fates, and Effects*. National Academies Press. https://downloads.regulations.gov/MARAD-2019-0095-0006/attachment_83.pdf
- [32] **International Maritime Organization (IMO).** (2024). *Guidelines on the Use of Dispersants for Combating Oil Pollution at Sea*. https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/OurWork/Environment/Documents/OPRC%20&%20HNS/IMO%20Dispersants%20Guidelines%202024_Final.pdf
- [33] **United Nations Environment Programme (UNEP).** (n.d.). *Marine Litter: A Global Challenge*. Nairobi. <https://new.racrempeitc.org/wp-content/uploads/2022/07/MLAGC.pdf>
- [34] **National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) Marine Debris Program.** (n.d.). *Removal Technologies and Best Practices Guide*.
- [35] **United States Environmental Protection Agency (US EPA).** (n.d.). *Contaminated Sediment Remediation Guidance for Hazardous Waste Sites*.



- <https://nepis.epa.gov/Exe/tiff2png.cgi/P1000R7F.PNG?-r+75+-g+7+D%3A%5CZYFIL ES%5CINDEX%20DATA%5C00THRU05%5CTIFF%5C00001148%5CP1000R7F.TIF>
- [36] **Interstate Technology & Regulatory Council (ITRC).** (2024). *Phytotechnology Technical and Regulatory Guidance*.
<https://itrcweb.org/wp-content/uploads/2024/09/PHYTO-3.pdf>
- [37] **International Atomic Energy Agency (IAEA).** (n.d.). *Radiological Assessment and Remediation of Marine Environments*.
<https://www.iaea.org/newscenter/news/iaeas-marine-radioactivity-information-system-transforms-ocean-research>
- [38] **Khan, M. A. A., Alpona, A. A., & Ullah, S.** (2026). Sustainable management of coastal heavy metals through *Spartina alterniflora* transplantation and biomass utilization. *Total Environment Engineering*, 7, Article 100090.
<https://doi.org/10.1016/j.teengi.2026.100090>
- [39] **United Nations Environment Programme (UNEP).** (2022). *Environmental Impact of the Conflict in Ukraine: Preliminary Assessment of Environmental Damage*.
<https://wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/40746>
- [40] **Zoï Environment Network.** (2023). *Environmental Consequences of the War in Ukraine: A Preliminary Review*. Geneva.
https://zoinet.org/wp-content/uploads/2018/01/OSCE-Ukraine-env-cons_EN.pdf
- [41] **European Environment Agency (EEA).** *Marine Ecosystems and Human Activities: Pressures and Impacts Assessment*.
- [42] **Black Sea Commission.** (2009). *State of the Environment of the Black Sea Report*.
https://www.blackseacommission.org/Downloads/SOE27032009-1_compressed.pdf
- [43] **Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).** (n.d.). *Guidelines for the Fisheries and Aquaculture Sector on Damage and Needs Assessments in Emergencies*. Rome. <https://www.fao.org/4/i3433e/i3433e.pdf>
- [44] **United States Environmental Protection Agency (US EPA).** (1992). *Framework for Ecological Risk Assessment* (EPA/630/R-92/001).
https://www.epa.gov/sites/default/files/2014-11/documents/framework_eco_assessment.pdf
- [45] **International Organization for Standardization (ISO).** (2018). *ISO 31000:2018. Risk Management—Guidelines*. <https://www.iso.org/obp/ui/en/#iso:std:iso:31000:ed-2:v1:en>
- [46] **Wang, L. T.** (2024). Heavy metal tolerance in aquatic plants: Physiological adaptations and detoxification strategies. *International Journal of Aquaculture*, 14(3), 165–173.
<https://aquapublisher.com/index.php/ija/article/view/3863>
- [47] **European Commission Joint Research Centre (JRC).** *Risk Assessment and Decision Support for Environmental Management*.
- [48] **Lesuis, C., Niemann, H., Kienhuis, M. V. M., van der Meer, M. T. J., Vielfaure, H., Polerecky, L., & Vaksmaa, A.** (2025). Mineralization of photodegraded polyethylene by the marine-derived fungus *Aspergillus terreus*. *Total Environment Microbiology*, 1, Article 100027. <https://doi.org/10.1016/j.temicr.2025.100027>



- [49] **Jensen, D.** (2012). Evaluating the impact of UNEP's post-conflict environmental assessments. In D. Jensen & S. Lonergan (Eds.), *Assessing and Restoring Natural Resources in Post-Conflict Peacebuilding*. Earthscan.
- [50] **Samoilescu, G., Pazara, T., Apetroaei, M. R., Nedelcu, A., & Toma, A.** (2024). Identification and quantitative pollutant analysis: A novel approach for environmental assessment on the Romanian Black Sea coast. *Scientific Bulletin of Naval Academy „Mircea cel Bătrân”*, XXVII(2), 74–87.
https://www.anmb.ro/buletinstiintific/buletine/2024_Issue2/04_FAR/74-87.pdf
- [51] **Nedelcu, A.-T., Pazara, T., & Apetroaei, M. R.** (2026). Hydrographic stratification and pollutant retention at Constanța Port Roadstead, NW Black Sea: Five-layer dissolved oxygen structure and a CTD-derived retention index from a single-station profile. *Hydrology*, 13(7), 168. <https://doi.org/10.3390/hydrology13070168>

