

Isuritako petrolioaren eragina itsas animalietan: metaketa, metabolismoa eta toxizitatea

Ibon Cancio

Biologia Zelularra eta Histologia Laborategia
Zoologia eta Animalia Biologia Zelularra Saila
Zientzia eta Teknologia Fakultatea
Euskal Herriko Unibertsitatea
644 PK, 48080 Bilbo
e-mail: zoxcauri@lg.ehu.es

Azken urteotan gure gizartea oso kezkatuta dago itsasoan hondoratu-tako petrolio-ontziengatik. Egun dugun informazio-gizarte honek, belztu-tako itsaso eta hondartzen irudiak ekarri dizkigu maiz afalondora, eta kul-tura orokorreko osagai bihurtu zaizkigu *Amocco Cadiz*, *Exxon Valdez*, *Sea Empress*, *New Haven* edo *Erika* bezalako ahoskera arrotzeko izenak. Azken honetan okerragoa izan da, guri tokatu baitzaigu, eta *Prestige* zuen izena. Ez da egon Teleberriren Gaur Egun ikusi beharrik, gure hondartzetan ikusi baitugu marea beltzaren eragina. Edozeini galdetuta hondamendia zen hitzik aipatuena, eta flora eta faunaren gainean izan lezakeen eraginak kezka han-dia piztu zuen. Baina orokorrean jendeak ezer gutxi daki itsas ekosistemetan petrolioak izan dezakeen eraginaz. Petrolioak bai, hil egiten du, baina nola? Eta areago, hiltzen ez duenean, kalterik sortzen ote du populazioetan? Esate baterako, aldatzen ote ditu banakoen garapena, elikatzeko ahalmena, ugaltasuna, hazkuntza edo jokamoldea?

Ez da artikulu honen xedea petrolioak zer den azaltzea, baina bere eragin biologikoak ulertzeko zenbait gauza argitu behar dira:

- Petrolioak ez da konposatu bakar bat, milaka konposaturen nahasketa baizik. Hainbat petrolio mota daude eta beraz hainbat nahasketa possible. Gerta daitezkeen eragin biologikoak ere hala aldatzen dira.
- Petrolioak berez hidrofoboak dira. Hori dela-eta, ez dira urarekin nahasten eta lipidoetan disolbatu edo atxikitzen dira batipat.
- Petrolioak oso likatsuak izan daitezke, eta ondorioz oso atxikikorak. Honek sortzen ditu kalte gehienak, ez toxizitateak. Izan ere, mailu bat ez da toxikoa, baina mailukada bat buruan kaltegarria da betetan!

- Petrolioia ingurumenean eraldatu egiten da, zahartu, kontzentratu, andeatu eta beraz, itxura desberdinak aurkezten ditu denboran zehar.
- Petrolioia era askotan ager daiteke ingurumenean. Istripu baten ondorioz gertatzen diren isurketetan kantitate handietan itsasoratzen da eta kalte nabarmenak eragiten ditu, baina eragin hori mugatua izan daiteke denboran. Gehienetan, ordea, era kronikoan isurtzen dira petrolioaren osagaiak, bai hiriguneetatik, bai lur zein itsasoaren gaineko erauzketa-guneetatik.

PETROLIOAREN PATUA ITSASOAN

Behin itsasoan, petrolioaren osagaiek hainbat ibilbide egin ditzakete, uretan dagoena atmosferara pasa daiteke, edo hondora joan daiteke eta gero berriz uretara bueltatu. Medioen arteko elkartruke honetan bi prozesu dira mugatzaileak; batetik andeapen kimikoa eta bestetik izaki bizidunetan gertatzen den metatzea. Fotoxidazioz petrolioaren zenbait konposatu deuseztatu egiten dira, batik bat kate laburreko hidrokarburoak, toxikoenak eta uretan disolbagarrienak direnak hain zuzen ere. Petrolioetan, eta bereziki petroliotik eratorritako fuel-olio astunetan, oso ugariak izan daitezke kimikoki oso egonkorak diren hidrokarburo polizikliko aromatikokoak (PAHak), adibidez *Prestige* edo *Erikaren* fuel-olioaren kasuan. Konposatu hauek, zenbat eta luzeagoak izan, gero eta uretan disolbagaitzagoak dira, eta beraz, lipofilikoagoak. Uretan dauden molekula lipofilikoek biotan metatzeko joera dute, zeren bizidun guztiek lipidoz osoturik baitaude. Ondorioz, kimikoki andeazinak diren konposatu horiek, lehenago edo beranduago, izaki bizidunen ehunetan metatuko dira. Konposatuen eskuragarritasunak mugatuko du metatze maila eta itsasoaren kasuan uretan disolbatuak edota material partikulatuari atxikituta dauden frakzioek izango dute eskuragarritasun handiena (Page *et al.*, 2005). Gainera, elika-katean zehar metatzeko joera dute. Arrain handiak txikia jaten du, eta arrain txikiak bizian zehar metatutako konposatuak eskuratuko ditu. Ondorioz, elika-katearen erpinean dauden animaliek izan ohi dituzte. kutsatzaile-kantitaterik handienak. Biometaketa honetan beste eragile batek garrantzi handia du: animalia bakoitzak hidrokarburoak metabolizatzeke eta detoxifikatzeke duen ahalmena.

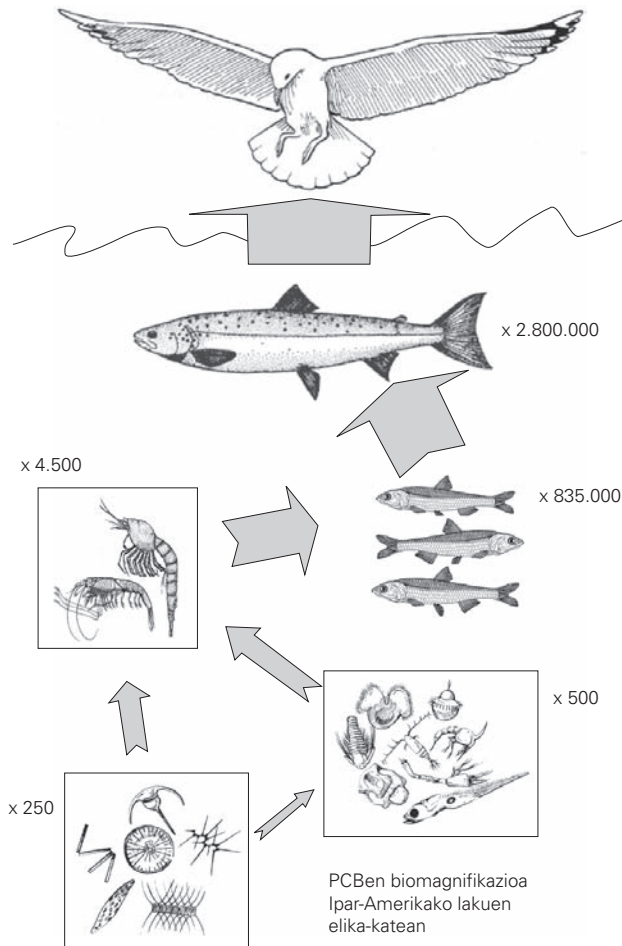
Petrolioaren kalteak mota askotakoak izan daitezke. Isurketa handietan sortzen den lehena eragin fisikoa da. Alga bat petrolioz estalita badago, ez du fotosintesia egiterik izango. Hegazti bati lumak galipotez zikintzen bazaizkio, hotzez hil daiteke, edo bestela eragozpenak izan ditzake hegan egiteko, eta beraz, elikatzeke. Kasu honetan petrolioaren konposaketa kimikoak ez du inongo eraginik. Eragin biologikoa petrolioaren likastasunetik dator. Epe luzeagoetan, berriz, benetako efektu toxikoak sor daitezke petrolioaren konposatu kimikoak metatzearen ondorioz.

PETROLIOAREN OSAGAIEN METAKETA ANIMALIEN EHUNETAN

Oktanol-Ura Banatze-Koefizientea (K_{OW})

Oktanol/ura banatze-koefizientea (K_{OW}) konposatu kimiko batek tenperatura jakin batean oktanolean eta uretan hartzen dituen oreka-kontzentrazioen arteko ratioa da. Oktanola disolbatzaile organikoa da eta koefiziente honetarako gai organikoaren ordezkotza gisa erabilia da. Parametro hau ikerketa askotan erabiltzen da, konposatu kimikoen patua zein izango den jakin ahal izateko. Zenbat eta koefiziente handiagoa izan, konposatua probabilitate handiagoz metatuko da gai organikoetan. Hau da, konposatua errazago aurkituko dugu ehun biologikoetan uretan baino. Fuel-olioetako PAH handienak (*Prestigeren* petrolioan oso ugariak zirenak) K_{OW} handiak dituzte, eta ondorioz, oso biometagarriak dira. Adibidez, 2 eraztun dituen naftalenoak 3.37-ko koefizientea du ($\log K_{OW}$), 5 eraztun dituen benzo(a)pirenoak 6.04-koa, eta PAHrik handiena den 10 eraztundun koronenoak 7.36-ko koefizientea du. Aldiz, PAHa zenbat eta txikiagoa izan uretan disolbagarriagoa izango da eta beraz errazago iritsiko da animalietara (naftalenoa 12500-34000 $\mu\text{g/l-koa}$ 25°C-an, eta benzo(a)pirenoa 3.8 $\mu\text{g/l-koa}$). Gogoan izan behar da eskuragarritasuna eta biometagarritasuna ez direla gauza bera.

Ondorioz, PAH txikiak eskuragarriak dira itsas animalientzat eta handiak ehun biologikoetan metagarriagoak. Bestalde, PAH txikien endekagarritasuna (bai kimikoa bai metabolikoa), PAH astunena baino askoz handiagoa da; beraz PAH astunak dira ingurunean irauteko joera dutenak. Hau jakinik, zenbait definizio eman behar ditugu konposatu kimikoek ehun biologikoetan metatzeko duten ahalmenari dagokionez. Bizidun baten gainean gertatzen den kutsatzaile baten metaketari, **biometaketa** deritzo; sarrerek irteerei gailentzearen ondorioa da hori. **Biomagnifikazioa** aldiz, elikagai-katean gerta daitekeen biometaketaren emendioa da (1. irudia). **Biokontzentrazio faktoreak** konposatu kimiko baten biometaketa maila adierazten du, eta ehun biologikoetan uretan duen kontzentrazioaren aldean kutsatzailea zein neurritan topa daitekeen adierazteko erabiltzen da. Biometaketa, biomagnifikazioa, eta biokontzentrazioa konposatu lipofilikoekin gertatu egiten dira, hots, K_{OW} handiak izategatik metagarriak direnekin. Batik bat Ameriketako lakuetako egoeran oinarrituta kalkulatu dira parametro horiek; bertan bifenilo poliklorinatuen bezalako konposatuak milioika aldiz kontzentratuagoak agertzen dira ehun biologikoetan ur-zutabearekin alderatuta (1. irudia). Fenomeno hori dago «Mussel Watch» (muskulu behatzailea) gisako biojarraipen programen oinarrian, muskuiluek itsas uretan disolbatuak dauden konposatu kimikoak kontzentratzean neurtzea kimikoak errazten baitituzte (Page *et al.*, 2005).



1. Irudia. Oso biometagarriak diren bifenilo poliklorinatuen (PCB) biomagnifikazio mailak Ipar-Ameriketako lakuen elika-kate batean. Uretan oso kontzentrazio txikituan agertzen diren konposatu horiek, 25 milioi aldiz kontzentratuagoak agertzen dira elika-katearen erpinean dauden hegaztietan. Azaltzen diren zenbakiak, elika-katearen bizidun talde bakoitzean topa dezakegun PCBen biokontzentrazio-faktorea adierazten dute.

Garrantzitsua da jakitea zein zelula eta ehunek duten xenobiotikoak (egitura biologikoei arrotzak gertatzen zaizkien konposatu kimikoak) metatzeko gaitasunik handiena. Orokorrean kutsatzaileen eragina gogor jasaten dutenak, eta lipido ugari dituztenak dira ehunik metakorrenak. Arrainen larruazalak, esate baterako, ur kutsatuarekin kontaktuan dago baina hala ere ez du konposatu askorik metatzen, mukizko geruza batez babestuta dagoelako. Arrainen-sarrera gune nagusiak zakatzak eta liseri-aparatua

dira, animalia askok janariaren bitartez eskuratzen baitituzte konposatu kimiko gehienak. Behin konposatu kimikoak ehun hauetan metatuta, odolaren bitartez barreiatzen dira, gibelera iristen direlarik lehenago edo beranduago. Gibelean, horrelako konposatu asko metabolizatzen dira, eta ondorioz, andeatuak eta kanporatuak gertatzen dira (ikusi hurrengo atala). Azken batez, biometaketa ekuazio erraz baten ondorio da; metaketa = eskuratzen dena – kanporatu edo andeatzen dena. Gantz askoko ehunak dira metaketa-gune behin-betikoak konposatu lipofiliko gehienentzat; arrain batzuentzat adibidez, gibela da organorik metagarriena (%74 inguru lipidoak baitira uda hasierako legatz baten gibelean). Obarioek ere oso lipido-kopuru altua dute, obozitoen erreserba-materiala dela-eta. Ugaztunen kasuan esnea da metatze-gune garrantzitsuetako bat. Honek metaketaren beste kontu bat aztertzea garrantzitsua da: itsas animalia askotan lipidoen metaketa sasoiaren arabera gertatzen da, hala gertatzen baita elikagaien eskuragarritasuna. Legatzaren gibelean lipido-kontzentrazioa neguan askoz txikiagoa da udan baino, eta gonadak ez dira udaberrira arte garatzen. Beraz, sasoiaren menpean ere egon daiteke konposatu kimiko organiko eta lipofilikoen metaketa.

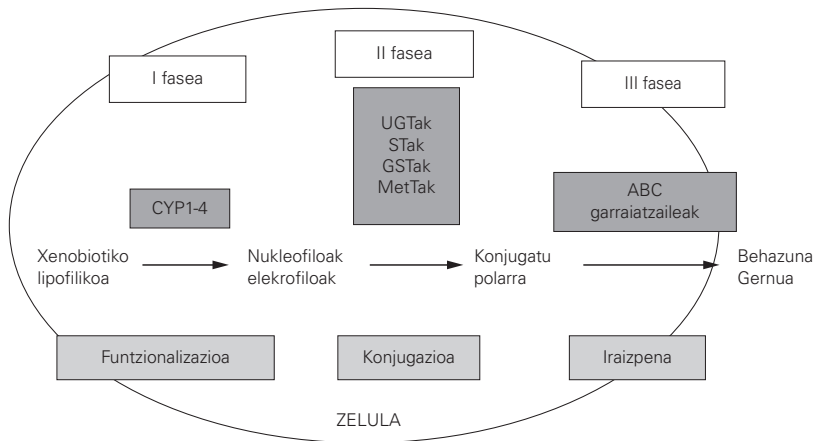
Prestigieren kasuan kontu honek izan ditzakeen ondorioak:

- PAHen kontzentrazioa neurtu nahi izatekotan ez dauka zentzu handirik arrainen muskulua ikertzeak, konposatu lipofilikoen ehun metatzailea ez baita muskulua, gibela baizik.
- PAHen neurketak muskuluan egitea zentzuzkoa da, baina soilik giza kontsumorako irzpidetak finkatzeko unean
- Garrantzitsua izango da ehunen lipido maila petrolio-isurketaren unean. Isurketa udaberri edota uda partean gertatzeak hidrokarbonen metatze-maila altuagoa espero daiteke.

METATUTAKO KONPOSATUEN BIOERALDAKETA

Animaliek eboluzioan zehar konposatu arrotzak, hau da, xenobiotikoak metabolizatzeke (deusezteko) sistemak garatu dituzte. Metabolizatutako xenobiotiko gehienak konposatu liposolugarriak izango dira. Liposolugarriak diren konposatu horiek hidrosolugarri bihurtzea da xedea, gero gernerarekin batera, edota gorotzekin, izerdiarekin, beazunarekin, ileekin, edo lumekin batera gorputzetik kanporatzeko. Honi bioeraldaketa-metabolismoa deritzo eta hiru fasetan gauzatzen da (2. irudia):

- I fasea edo funtzionalizazio erreakzioak
- II fasea edo konjugazio erreakzioak
- III fasea edo mintz zeharreko garraioak



2. Irudia. Xenobiotiko liposolugarrien metabolismoan diharduten I, II eta III faseko entzima-sistemak. UGTak = UDP-glukuroniltransferasak; STak = sulfottransferasak; GSTak = glutation S transferasak; MetTak = metiltransferasak; ABC garraiatzaileak = xenobiotiko anitzekiko jasankortasun-proteinak.

Zitokromo P450 monoxygenasen familiako entzimak dira I faseko metabolismoaren arduradun nagusiak. Familia honetako entzimak kodetzen dituzten geneei CYP izena eman zaie, eta beraien egitura eta substratuekiko espezifikitatea adierazten dituen zenbaki bat eranstean zaie atzean. Hasiera batean kolesterola edo estradiola bezalako konposatu lipidiko endogeno edo fisiologikoen metabolismoan aritzeko sortutako entzima hauek izugarri hedatu dira eboluzioan zehar. Familia handi honetako batzuk faboratuak gertatu dira animalien zenbait familiatan, adibidez CYP6 geneak intsektuetan. Beste batzuek soilik animalien familia batean topatu izan dira, adib CYP10 soilik moluskuetan aurkitu da. Gure aztergai honen haritik, azpimarratzekoa da CYP1, CYP2, CYP3 eta CYP4 geneek kodeturiko entzimek ahalmena dutela xenobiotikoak metabolizatzeko. Gainera lau familia hauetako entzimak kutsatzaile liposolugarrien aurrean induzitu egiten dira. Aitita amarekin bizi izan garenok badakigu agureek gaixorik daudenean zein usain berezia uzten duten komunean. Haiek hartzen dituzten barbiturikoak droga liposolugarri arrotzak dira. Gibelak metabolizatu egiten ditu, non barbiturikoen eraginaren pean CYP2 familiako entzimak induzitzen diren. Ondorioz, barbiturikoen metabolitoak gernuarekin batera kanporatzen dira. Petrolioaren kasuan ez dugu barbiturikorik topatuko baina bai PAHak, eta hidrokarburo hauek, PCBak edota dioxinak bezala, CYP1 geneak induzitzen dituzte. *Exxon Valdez*-en petrolioak kutsatutako itsas igarabek edo arrainek adibidez, CYP1A1 genearen indukzio maila handia erakutsi dute urteetan (Bodkin *et al.*, 2002; Jewett *et al.*, 2002). Antzeko indukzioa topatu da laborategian *Prestige*-ko olioak jaten eman zaien erreboiloetan (Martin-Skilton

et al., 2005). Gene hauek guztiek oxigenazio edo hidroxilazio erreakzioak katalizatzen dituztelarik, II faseko metabolismoaren erreakzioetarako prestatzen dute edo funtzional bihurtzen dute konposatu liposolugarria

II faseko metabolismoan funtzional bihurtutako konposatu arrotzei molekula polar bat eransten zaie. Beraz, kutsatzaileari azido glukuronikoa, glutationa, sulfato edo metilo taldeak gehitzen dizkiote II faseko UDP-glukuroniltransferasek, glutation S transferasek, sulfotransferasek eta metiltransferasek. Sistema honetako zenbait entzima ere induzitu egiten dira PAHen aurrean.

II fasearen ondorioz, beraz, konposatu hidrosolugarri bat dugu zelula barnean. Kanporatua izateko, ordea, oztopo bat gainditu behar du: mintz plasmatico hidrofoboa. Horretarako daude III faseko metabolismoan diharduten mintz-proteina garraiatzaileak, gizakian droga anitzekiko ja-sankortasun-proteinak (MDR) eta arrainetan xenobiotiko anitzekiko ja-sankortasun-proteinak deritzenak (MXR). Proteina hauek oso egitura eta funtzionamendu desberdineko konposatuak garraia ditzakete mintzean zehar, eta kutsatzaileen aurrean CYP geneek induzitzen dituzten molekula-mekanismo berberen bitartez induzigarriak dira haiek ere.

Aipatutako entzima eta sistema guztiak ornodunetan topatu dira (batik bat gibelean oso aktiboak izanik), eta beraz, gibela duten animaliek konposatu liposolugarriak metabolizatzeko ahalmen handia dute. Ornogabeek aldiz, xenobiotikoen bioeraldaketa-metabolismo mugatua dute. Adibidez, moluskuetan CYP4 familiako gene gutxi batzuk baizik ez dira deskribatu eta krustazeoetan CYP2 eta CYP4 familiakoak baino ez. Ondorioz, xenobiotiko liposolugarriak metabolizatzeko ezintasuna dutelarik berauek metatzeko joera handiagoa dute ornogabeek.

Hala ere, biotransformazio-metabolismo garatuak ez ditu abantailak bakarrik. Ingurunetik hartu eta metatzen den konposatuari konposatu parentalak deritzo, eta metabolizaturiko konposatuari, bere egoera edozein dela, metabolito izena jartzen zaio. Kasu askotan metabolitoak beraiek, bereziki I faseko metabolismoaren ondorioz sortutakoak, konposatu parentalak baino toxikoagoak dira. Adibidez, benzo(a)pirenoa, bost eraztuneko PAH astuna, metabolizatzean CYP1A1 entzimak benzo(a)pireno guanosina konplexu kartzinogenikoa sortzen du.

Prestige ontziaren isurketan honek izan ditzakeen ondorioak

- Ingurunearen egoera ikertu nahi badugu, ez da oso komenigarria PAH metabolizagarrien metaketa ornodunetan ikertzea, PAH horiek erraz kanporatzen baitituzte. Zentzuzkoa izan daiteke ordea kontsumorako arrainetan neurtzea. Bestalde, pisu molekular baxuko PAHak bioeraldaketa-metabolismo oso garatua ez duten ornogabeetan meta, eta ondorioz neur, daitezke soilik: moluskuak, krustazeoak...
- Arrainetan PAHrik ez topatzeak ez du esan nahi ingurunean ez daudenik. Kasu hauetan zentzuzkoagoa da PAH metilatuak bezalako

metabolitoak behazunean bilatzeak (Jewett et al., 2002). Bestalde, gibelego CYP1A eta bestelako entzimen jarduera indutitua izan daitezke seinale adierazgarrienak.

- Ornogabeek, PAHak metabolizatzen ez dituztenez, substantzia hauen gordailu gisa dihardute, eta epe luzera beren harrapariak PAHein kutsatzen dituzte. Horrelako kutsadura kronikoa Exxon Valdezen kasuan behatu da, istripua gertatu eta 15 urte geroago muskuiluek oraindik PAH ugari baitzituzten (Peterson et al., 2003; Page et al., 2005).

ERAGIN BIOLOGIKO KALTEGARRIAK

Xenobiotikoez zelulen barnean kalte ugari sor ditzakete, makromolekula biologikoez elkartzeko duten gaitasuna dela-eta. Eragin ditzaketen kalteak honakoak dira (3. irudia): oxidatze-estresa, lipido-, proteina- zein DNA-aduktuen eraketa, mutagenesia, gene-adierazpenaren aldaketa, kartzinogenesia, metabolismoaren eraldaketa, immunoezabaketa, garapenaren gaineko eraginak eta ugal-arrakastaren murrizketa. Ustezko eragin hauetarako batzuen xehetasunak emango dira jarraian.

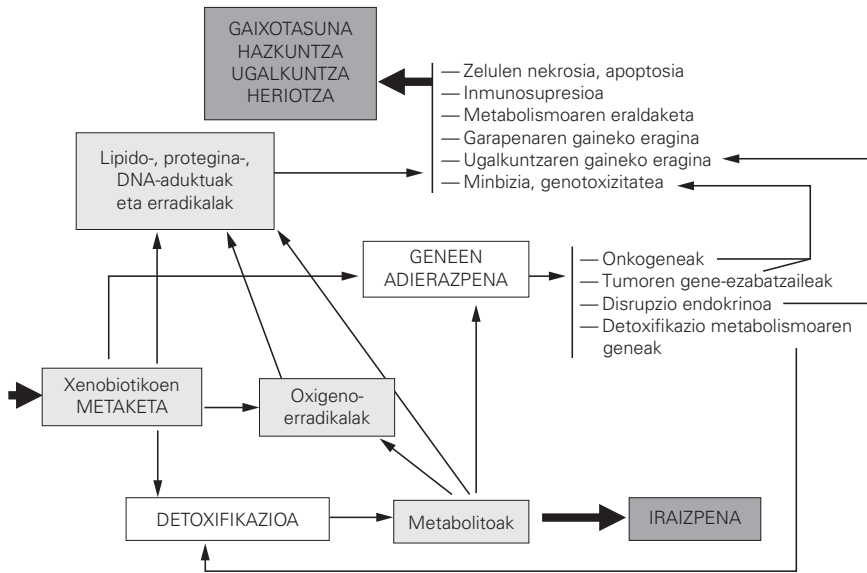
Oxidatze-estresa

PAHak bezalako konposatu kimiko batzuk, edo haien metabolitoak, oso oxidazaileak izaten dira. Izan ere, edozein molekula izan daiteke oxidatzaile, parekatu gabeko elektroi bat edo gehiago baditu kanpo orbitalean. Bioerlaldaketa-metabolismoan errelox erreakzioen ondorioz oxigenoaren erradikal askeak (oxierradikalak, O_2^- , OH^\cdot edo H_2O_2) ekoizten dira. Beraien oxidatze-gaitasuna dela-eta, bereziak dira errelox-zikloa duten konposatuak. Zenbait PAHren oxidazioz kinonak sortzen dira. Kinonak NAD(P)H erreduktasen jarduerari esker erreduzitu egiten dira; hala ere, oxigenoaren eraginaren pean, konposatua berriz oxidatzen da; beraz, zikloa berriz hasten da, eta gainera oxigenoak anioi superoxido oxierradikal aktibo bat sortzen du. Ondorioz, oxierradikalak sortzen dira etengabe, eta gainera, NADP(H)ren oxidazioa dela-eta zelularen erreduzitze-ahalmena desorekatu eta metabolismo-homeostasia desegonkortu egiten da.

Bai konposatu kimikoen erradikal askeek, bai oxierradikalek, ondorio oso kaltegarriak izan ditzakete, proteina, azido nukleiko zein lipidoekiko elkargarritasuna dela-eta. Horrela, lipidoen peroxidazioaren bitartez mintz biologikoak apur ditzakete. Proteinak oxidatuz entzima-jarduerak inaktibatzen eta egiturazko proteinak deuseztatzen dituzte. DNA oxidatuz, aldiz, hurrengo atalean azalduko ditugun mutazioak sortzen dituzte. Azken ondorioak zelula mailan gertatzen dira: zelularen gaineko kalteak, toxizitatea,

kartzinogenesisia eta mutagenesia, metabolismo-desoreka eta immunoeskasia izan daitezke. Honek eragina izango du organismo mailan.

Zelulek egoera honen aurrean babes-mekanismo ugari lortu dituzte eboluzioan zehar. Babes-mekanismo hauek oxieradikalak bahitu edo apurtzen dituzte, eta bi taldetan sailka daitezke: molekula babesle zitosoliko txikiak eta entzima antioxidatzaileak. Lehenengoan artean, glutathionea, C eta E bitamina dauzkagu. Entzima antioxidatzaileei dagokionez, zelula-konpartimentu bakoitzean bada entzima-sistema bat, hala nola peroxisometako katalasa, zitosoleko glutathione peroxidasa, mikrosomako peroxidasa eta mitokondriako superoxido dismutasa, DT-diaforasa, eta abar. Babes-hesi hau gainditzean sortzen da zelulen gaineko oxidatze-kaltea.



3. Irudia. Xenobiotiko bat zeluletan sartu ondoren eragin ditzakeen erantzun eta eragin kaltegarriak irazpena gertatu arte, edo animaliaren osasuna edo bideragarritasuna oztopatu arte.

DNA-ren gaineko kalteak, mutazioak, minbizia

PAHen I faseko aktibazio metabolikoaren ondorioz diol epoxido enantio-meroak ekoizten dira, batik bat hepatozitoetan. Molekula hauek oso erreaktiboak dira eta, DNA-konplexuak sortzen dituzte. Aduktu esaten zaie konposatu kimiko bat DNArri atxikitzean sortzen diren honelako konplexuei.

PAHen metabolitoek, DNAREN osagaiak diren guanina eta adeninekin lotzeko joera dute, eta horrela DNA-harizpi bikoitzean baseen arteko desparekatzeak gerta daitezke. Kalte hauen ondorioz zelulen bideragarritasuna kaltetua gerta daiteke, adibidez ziklo zelularra geldituz eta zelulen zatitzeko ahalmena murriztuz (Hose eta Brwon, 1998). Bestetik, transkripzioa, erreplikapena eta kromosomen segregazio egokiak ekiditen direnez (Harvey *et al.*, 1999), apoptosis (zelularen heriotza programatua) etor daiteke, baita minbizia sortuko duten mutazioak edo aberrazio kromosomikoak ere.

Epidemiologiako ikerketek aditzera eman dutenez, birika-minbizia gartzeko arrisku handiagoa dago PAHak dituzten sustantziak, hala nola tabakoa edo alkitrana arnasten dituen jendearengan. Ikerketek hainbat motatako tumoreak (arnas-bideetakoak, urdailekoak, leuzemiak) nabarmendu dituzte benzo(a)pirenoarekin kontaktuan izan diren ugaztunetan. Era honetan, Estatu Batuetako ingurumen-babesenerako agentziak aditzera eman duenez, gizakian minbizia eragin lezaketen 7 PAH sailkatu dira: benzo(a)pirenoa, benz(a)antrazenoa, krisenoa, benzo(b)fluorantenoa, benzo(k)fluorantenoa, dibenz(a, h)antracenoa, eta indeno(1,2,3-cd)pirenoa.

Petrolio-ontziak urperatu izan diren zenbait tokitan eragin genotoxikoak behatu dira inguruko arrain eta ornogabe itsastarretan. Adibidez, *Exxon Valdez* hondoratu eta hilabetera Prince William Soundeko sardinzar eta muskuiluen populazioan kalte genetikoak (anafasearen aberrazioak) behatu ziren (Hose eta Brown, 1998). Gerora kalte hauek populazioetatik desagertu egin ziren, baina aipatu beharrekoa da gertaera hori beranduago neurtutako sardinzar-populazioaren jaiste nabarmenarekin uztartu dela. *Sea Empress*ek isuritako petrolioak ere mikronukleoak (kromosomen apurketaren ondorioz mitosiaren ondoren sortutako sasinukleo txikiak) prebalentzia igoarazi egin zuen Galeseko kostaldean hartutako arrain zein muskuiluen zakatz, gibel eta ugal-organoetan (Harvey *et al.*, 1999). Gauza bera behatu da *Prestige*-ren oliboa jasan duten muskuiluetan (Pérez-Cadahia *et al.*, 2004).

Garapenaren gaineko eraginak

Animalien larbak eta enbrioak askoz sentikorrak dira konposatu kaltegarriekiko, beraien babes-mekanismoak ez baitaude guztiz garatuta. Era honetan, *Exxon Valdez*-en kasuan, izokinaren (*Onchorynchus gorbuch*a) eta sardinzarren (*Clupea pallasi*) arrautzek eta enbrioiek hilkortasuntasuna handiak erakutsi zituzten isurketaren osteko 4 urteetan (Carls *et al.*, 2002; Peterson *et al.*, 2003). Kalteak mota askotakoak izan badaitezke ere, normalean enbrioien garapen-mekanismoak gertatzen dira kaltetuak. Horrela, deformazio teratogeniko ugari suerta daitezke: hegal gehigarriak edo masail desitxuratuak agerpena, liseri-traktuaren, gonadaren, eskeletoaren eta zentzumen-organoen garapen okerra, garapen atzeratua eta hazkuntza eskasa.

Animalien larbak ere eragin genotoxikoekiko sentikorrakoak dira. Hauetan zelulak arinago zatitzen dira, eta eragin genotoxikoak erraz beha daitezke islatuta kalte morfogenetikoetan edo zelula-kopuruetan. Horrela, sardinzar-larben gaineko eragin genotoxiko nabariak behatu ziren *Exxon Valdezen* isurketaren ondorioz (Hose *et al.*, 1996).

Ugalketaren gaineko eraginak

Animalia gehienek ugal-aparatuen garapena hormona esteroideoen menpean dago. Horrela, testosteronak arren ugal-aparatuaren garapena eraentzen duen bitartean estradiolak emearena eraentzen du. Hormona biak kolesterolaren eratorriak dira, eta beraz, lipidikoak. Itsasoan disolbaturiko zenbait konposatuk eraginak izan ditzakete bai hormonen ekoizpenerako beharrezkoa den metabolismoan bai hormonek agindutako zelula-mekanismoetan (Rotchell eta Ostrander 2003). Zenbait konposatu kimiko hormona esteroideoen antzeko egiturak dauzkate, eta animaliak, beraz, seinale kontrajarriak jaso ditzake. Horrela, estradiolaren antzeko egitura duen konposatu baten eraginaren pean arrek emeei bakarrik dagozkion «garapen-erabakiak» har ditzakete. Horiek sexu-hormonak imitatzen dituzten konposatu kimikoak dira, eta «disruptore endokrino» esaten zaie. Estradiolaren antzeko produktuei «xenoestrogenoak» deritze, eta adibidez, emeen eskusiboa den vitelogeninaren (obozitoen erreserba-gai nagusia) ekoizpena bultzatzen dute arrain arretan (Rotchell eta Ostrander 2003). Honelako eraginik ez da petrolio-isurketa nagusien ondorioz ikusi izan, nahiz eta behintzat *Prestigeren* kasuan, aukera hau ikertu izan den. Bai, laborategian *Prestige*-olioaren pean egon diren arrainetan, testosterona eta estradiolaren kontzentrazioak jaitxi egiten direla behatu izan da (Martin-Skilton *et al.*, 2005).

Konposatu hauen eraginez populazioen sexu-ratioak eraldatu edota ugal-jarduerak oztopa daitezke. Honek eragin zuzena izan dezake populazioen bideragarritasunean, ezin ugal daitekeen populazioak ez baitu etorkizunik.

ONDORIOAK

Ikusi dugunez, petrolioaren eraginak era askotakoak dira. Batetik, kontuan hartu behar dira petrolioaren ezaugarriak: konposatu alifatiko asko baditu oso toxikoa izango da, oso disolbagarria izango delako, eta beraz, bizidunentzat oso eskuragarria. Bestetik, ez da oso iraunkorra izango, azkar deuseztatuko baita ingurumenean. PAH asko baldin baditu, berriz, oso poluzio iraunkorra izango da, baina bioeskuragarritasuna murriztagoa izango da konposatu horiek uretan disolbagaitzak baitira. Eragina ere, espeziezik

espeziera aldatuko da. Animalia batzuek kutsatzaileak metabolizatzeko gaitasuna dute, eta beraz, ez dituzte konposatu horiek metatuko. Bestetik, animalia horiek konposatuon metabolitoak meta ditzakete. Garrantzitsua da, era berean, isurketa-unea zein den. Itsas animalia gehienek udaberri/udan dute ugaltze-garaia. Ondorioz, sasoi horietan gonadak oso garatuak dituzte, gantzez beteak; beraz, konposatu lipofilikoak bertan metatzeko joera handiagoa dute. Era berean, joera dute konposatu horiek gametoeekin batera askatzeko. Azkenik, kontuan hartu behar da petrolioaren metatze-unean animaliak zuen garapen-fasea. Izan ere, larbak askoz sentikorragoak dira helduak baino.

Ondorioz, *Prestigeren* isurketaz geroztik hiru urte igaro diren honetan, esan genezake asko gelditzen zaigula ikertzeko eta ikusteko. Zenbait animalien populazioen gaineko eraginak denbora pasa ahala ulertu ahal izango ditugu. Baliteke isurketak muskuiluak hil ez baina ugaltze-gaitasuna beheratu izana. Edota ondorengo belaunaldiko muskuiluen ugaltze-gaitasuna beheratu izana ere. Alaskako kostaldean gertatu zen *Exxon Valdez* isurketak eman digu adibiderik argiena (Peterson *et al.*, 2003), hamabost urte igaro dira, eta oraindik nabariak dira isurketaren eraginak, mota askotakoak beraiek. Hemen azaldutako eragin biologiko gehienak ikertzen ari dira Iberiar Penintsulako ipar-kostaldean, Galiziatik Euskal Herrira. Horretarako, Espainiar ministerioaren eta Eusko Jaurlaritzaren eta bestelako Gobernu, ikerkuntzarako deialdi berezietan bitartez emandako diru-laguntzak erabiltzen ari dira. Espero izatekoa da diru-iturria ez dela etorkizunean itxiko, eta datozen urteetan aukera izango dugula *Prestigeren*, eta etor zitezkeen, eraginez gerta daitezkeen ikertu ahal izateko.

ERREFERENTZIAK

- BODKIN, JL; BALLACHEY, BE; Dean, TA; Fukuyama, AK; Jewett, SC; McDonald, L; Monson, DH; O'Clair, CE. & VanBlaricom GR. (2002). Sea otter population status and the process of recovery from the 1989 *Exxon Valdez* oil spill. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 241:237-253.
- CARLS, MG; MARTY, GD; & HOSE JE. (2002). Synthesis of the toxicological impacts of the *Exxon Valdez* oil spill on Pacific herring (*Clupea pallasii*) in Prince William Sound, Alaska, U.S.A. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 59, 153-172.
- HARVEY, JS; LYONS, BP; PAGE, TS; STEWART C & PARRY JM. (1999). An assessment of the genotoxic impact of the Sea Empress oil spill by the measurement of DNA adduct levels in selected invertebrate and vertebrate species. *Mutation Res.* 441, 103-114.
- HOSE, JE; MCGURK, MD; MARTY, GD; HINTON, DE; BROWN, ED; & BAKER, TT. (1996). Sublethal effects of the (*Exxon Valdez*) oil spill on herring embryos and larvae: morphological, cytogenetic, and histopathological assessments, 1989-1991. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 53, 2355-2365.
- HOSE, JE & BROWN, ED. (1998). Field applications of the piscine anaphase aberration test: lessons from the *Exxon Valdez* oil spill. *Mutation Res.* 399, 167-178.

- JEWETT, SC; DEAN, TA; WOODIN, BR; HOBERG MK & STEGEMAN, JJ. (2002). Exposure to hydrocarbons 10 years after the *Exxon Valdez* oil spill: evidence from cytochrome P4501A expression and biliary FACs in nearshore demersal fishes. *Mar. Environ. Res.* 54, 21-48.
- MARTIN-SKILTON R; SABORIDO-REY F & PORTE, C. (2005). Endocrine alteration and other biochemical responses in juvenile turbot exposed to the Prestige fuel oil. VERTIMAR-2005, Symposium on Accidental Marine Oil Spills
- PAGE, DS; BOEHM, PD; BROWN, JS; NEFF, JM; BURNS WA & BENICE AE (2005). Mussels document loss of bioavailable polycyclic aromatic hydrocarbons and the return to baseline conditions for oiled shorelines in Prince William Sound, Alaska. *Mar. Environ. Res.* 60, 422-436.
- PÉREZ-CADALHIA, B; LAFFON, B; PASARO, E & MÉNDEZ, J. (2004) Evaluation of PAH bioaccumulation and DNA damage in mussels (*Mytilus galloprovincialis*) exposed to spilled Prestige crude oil. *Comp. Biochem. Physiol. C.* 138, 453-460.
- PETERSON, CH; RICE SD; SHORT JW; ESLER, D; BODKIN, JL; BALLACHEY BE & IRONS DB. (2003). Long-term ecosystem response to the Exxon Valdez oil spill. *Science.* 382, 2082-2086.
- ROTCHELL JM & OSTRANDER GK. (2003). Molecular markers of endocrine disruption in aquatic organisms. *J Toxicol Environ Health B Crit Rev.* 6, 453-496.