

SISTEMES DE VIGILÀNCIA DE LA CONTAMINACIÓ DEL MEDI AQUÀTIC

per

J. ALBAIGÉS, J. M. BAYONA, A. FARRAN, J. GRIMALT,
C. MARFIL I M. SOLER

Departament de Química Ambiental.
Centre d'Investigació i Desenvolupament. C.S.I.C.
Barcelona

Introducció

La creixent presència en el medi aquàtic de composts xenobiòtics com ara metalls, radionúclids, hidrocarburs, pesticides, etc., que poden arribar a constituir un problema per a l'ús i el consum humans dels seus recursos (aigua, peix, etc.), ha conduït a la necessitat d'establir sistemes de vigilància per a aquest medi.

Aquesta vigilància implica, en el seu sentit més ampli, la mesura continuada d'un contaminant o d'alguna variable relacionada amb ell de manera que hom en pugui conèixer la variació en un període de temps més o menys llarg o llur distribució en una determinada zona geogràfica. Això és el que en el llenguatge anglosaxó és anomenat *monitoring*.¹

Ara bé un sistema de vigilància no és només, i massa sovint que ho ha estat, un exercici de recollida o acumulació de dades. És veritat, com deia lord Kelvin, que una cosa es comença a conèixer quan ha estat mesurada o expressada en xifres, però la mesura a l'atzar de contaminants en indrets seleccionats arbitràriament no respon a les exigències d'aquest sistema. Aquest ha d'ésser dissenyat per a identificar problemes i donar resposta a qüestions plantejades. És una vegada que les qüestions han estat posades que s'hauran de definir les estacions i els paràmetres a mesurar, i no a l'inrevés.

Cal no perdre de vista que el que hom pretén és de protegir un ecosistema que suporta una diversitat biòtica, l'alteració de la qual pot produir efectes negatius en recursos naturals valuosos comercialment i, fins i tot, en la salut humana. En aquest sentit, un sistema de vigilància ha d'ésser considerat un ele-

1. MUNN, R. E. *Global Environmental Monitoring System*, SCOPE Rep. 3, 132 pp. J. Wiley (1973).

WHYTE, A. V., BURTON, I. (Eds.) *Environmental risk assessment*, 157 pp., J. Wiley (1980).

ment important dins un pla general de control de l'impacte ambiental i no pot ésser-ne separat.

Per això, una primera qüestió a abordar pel sistema serà l'avaluació de la capacitat receptora del medi per a cada tipus de contaminant, la qual cosa implica aspectes tan bàsics, i que s'hauran d'investigar, com el coneixement de les fonts, i la distribució i el comportament dels contaminants en el medi.

A l'hora de definir els nivells d'emissió que són acceptables, s'hauran de prendre en consideració criteris satisfactoris de dosi/efecte sobre el medi, la qual cosa no és senzilla sobretot pel que fa als efectes crònics, que són els més corrents. A partir d'aquests podran ésser definits altres nivells de protecció, en funció d'usos específics del medi, com per exemple per a les aigües de bany, per al peix destinat al consum, etc. Aquí podran intervenir-hi també criteris de cost/benefici o cost/risc.

Finalment, i basant-se en aquestes dades, un sistema de vigilància haurà de donar suport a unes mesures reguladores o a un pla de control, i fer el seguiment de l'eficàcia de la seva implantació en la millora del medi.

A mesura que es vagi generant la informació, el sistema s'haurà d'anar adaptant convenientment i si sorgeixen noves qüestions s'haurà d'anar complementant amb activitats de recerca per a donar-hi resposta.

En aquest treball ens limitarem primer a descriure les diferents estratègies per a bastir un sistema de vigilància, i després a veure com aquestes s'incorporen a un pla general de control del medi aquàtic.

Estratègies per a la vigilància del medi aquàtic

El medi aquàtic no és un sistema homogeni ni estàtic, no ja des del punt de vista biològic sinó també físico-químic. El medi aquàtic és un sistema compartimentat i amb una dinàmica pròpia. La gran varietat d'aportacions naturals i antropogèniques que rep es distribueixen en forma dissolta, coloidal o particulada, i entren a formar part del cicle biogeocímic dels elements.²

Hi haurà composts refractaris a ésser reciclats, bé per llur natura, com ara els metalls o els composts orgaño-clorats, bé per les condicions del medi, com per exemple en les conques anòxiques. Aquells s'aniran acumulant en els compartiments biòtics o abiòtics del medi segons llur biodisponibilitat i/o estat físico-químic (lliures, absorbits en el material particulat, complexats en els materials húmics, etc.) La vigilància d'aquests elements o composts té un interès especial, perquè en atènyer certs nivells de concentració podran originar efectes ecotoxicològics, que incidiran en la qualitat del medi i fins i tot en la salut humana.

2. BOLIN, B., COOK, R. B. (Eds.) *The major biogeochemical cycles and their interactions*, 532 pp., 1983, J. Wiley, N. York.

Altres composts són reciclats per processos biològics (p. e., degradació microbiològica) o físico-químics (p. e., fotooxidació). En aquest cas apareixeran nous elements o composts, que poden pertorbar els cicles naturals i per tant desequilibrar el medi. Llurs característiques estructurals o moleculars permetran d'interpretar els processos en curs.

Tots aquests aspectes són essencials per a definir un sistema de vigilància. La contaminació de les aigües, especialment de llacs, estuaris i zones marines costaneres, pot ésser detectada aleshores en la mateixa columna d'aigua, en els sediments o en els organismes aquàtics. Els avantatges i inconvenients de cadascun d'aquests compartiments per a la vigilància del medi els il·lustrem tot seguit, a partir de casos plantejats i resolts en el Departament.

L'anàlisi de les aigües

El principal inconvenient per a utilitzar les aigües directament en un sistema de vigilància resideix en les baixes concentracions en què es troben els contaminants, que plantegen problemes tant en el mostreig com en l'anàlisi. No és fàcil de mostrejar i tractar les grans quantitats d'aigua que són necessàries per a l'anàlisi sense contaminar-les. En aquest sentit, per exemple, és prou il·lustrativa la disminució contínua en el decenni dels setanta de les concentracions donades pels laboratoris d'elements com el Cd, Pb i Zn en el mar obert, com a conseqüència de la utilització d'instal·lacions a sobrepressió (netes).³

Una alternativa que ha estat proposada recentment per a obviar aquests inconvenients consisteix a emprar adsorbents com ara resines de poliestirè o poliuretà, directament o prèvia funcionalització, per a la concentració «in situ» dels elements orgànics i inorgànics. Aquesta metodologia, bé que prometedora, necessita encara treballs bàsics per tal de definir-ne la fiabilitat. Efectivament, en aplicar-la per tal de determinar les concentracions d'hidrocarburs dissolts en el Mediterrani, hem trobat valors de l'ordre dels ng/l (ppt),⁴ enfront dels valors de µg/l (ppb) normalment trobats per altres autors.⁵

Són aquests valors conseqüència en un cas de pèrdues d'eficàcia en l'extracció o en l'altre de contaminació de les mostres? Un senzill càlcul ens mostra que els valors més raonables semblen els primers. A partir de les estimacions següents:

1) una aportació anual per al Mediterrani d'un milió de tones d'hidrocarburs petrolígens;

3. BRULAND, K. W., FRANKS, R. P., KNANER, G. A., MARTIN, J. H. *Anal. Chim. Acta*, 105, 233 (1979).

4. ALBAIGÉS, J., BAYONA, J. M., GRIMALT, J., RISEBROUGH, R., DELAPPE, B., WALKER, W. *Org. Geochem.*, 6, 236 (1984).

5. HO, R., MARTY, J. C., SALIOT, A. *Internat. J. Environ. Anal. Chem.*, 12, 81 (1982).

- 2) una superfície de 2,5 milions de km²;
- 3) un 90 % de les aportacions concentrades a les zones costaneres; i
- 4) un temps de residència dels hidrocarburs als primers 100 metres de la columna d'aigua, d'unes dues setmanes,

resulta una concentració mitjana d'hidrocarburs en aquests primers 100 metres, de 20 ng/l, és a dir 20 ppt.

Tot i suposant errors en aquestes estimacions, és altament improbable que siguin de diversos ordres de magnitud fins a atènyer les ppb. Així doncs, aquesta metodologia, una vegada ben establerta, pot aportar també una millora considerable de la informació que avui tenim sobre concentracions de contaminants en el medi aquàtic.

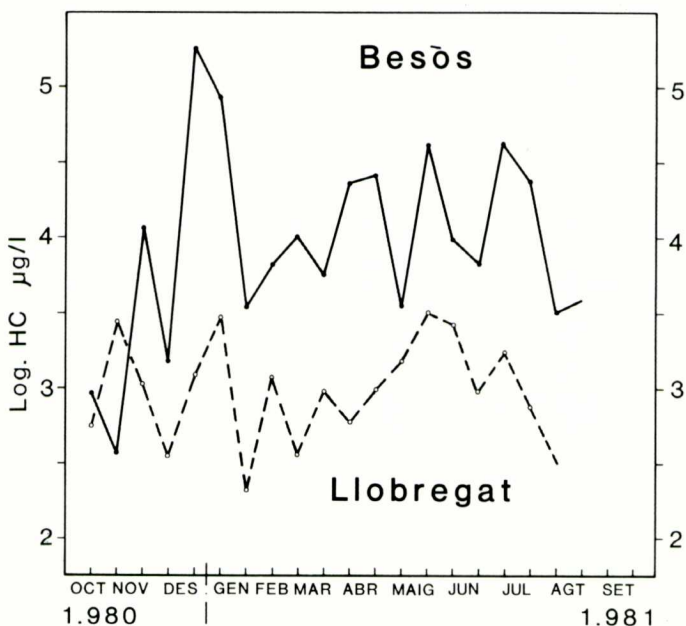


Fig. 1. - Concentracions d'hidrocarburs petrolígens en les aigües del Besòs i del Llobregat en el període octubre 1980 - setembre 1981.

Un altre inconvenient que planteja l'anàlisi directa de les aigües, particularment als estuaris i a les zones costaneres, és el que deriva de les considerables fluctuacions de les concentracions amb el temps, degudes als efectes de les descàrregues intermitents dels contaminants, a factors hidrològics (corrents, mareas, etc.), meteorològics (pluges, secades, etc.) o d'altres. A la figura 1 hom pot veure per exemple l'àmplia variació dels continguts d'hidrocarburs petro-

lígens a les aigües dels rius Besòs i Llobregat al llarg d'un any.⁶ Així, és difícil de fer una avaluació acurada de les concentracions mitjanes dels contaminants en l'aigua i llur temps de residència.

Una darrera dificultat que planteja l'anàlisi directa de les aigües és la manca d'una clara definició de les fases dissolta i particulada, diferenciació que és fonamental per tal com l'origen i transport dels contaminants, així com llur biodisponibilitat, estan associats a aquestes fases.

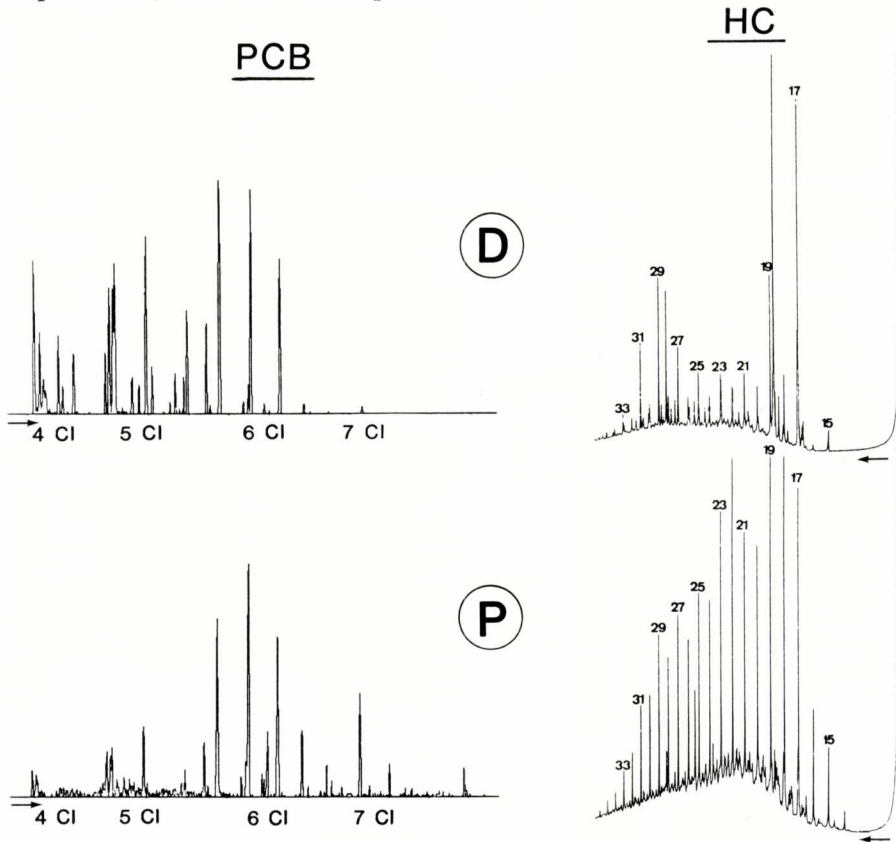


Fig. 2. - Cromatogrames de gasos dels hidrocarburs saturats (HCs) i policlorbifenils (PCBs) corresponents a les fases dissolta (D) i particulada (P) de les aigües del riu Ebre.

A la figura 2 presentem els perfils cromatogràfics dels hidrocarburs saturats en les fases dissolta i particulada de les aigües de l'Ebre, on hom pot veure que la primera conté fonamentalment hidrocarburs de tipus petrogènic, mentre que

6. SOLANAS, A. M., PARÉS, R., MARFIL, C., ALBAIGÉS, J. *Internat. J. Environ. Anal. Chem.*, 12, 141 (1982).

en la segona són biogènics. També els bifenils policlorats (PCBs) presenten una compartimentació en funció de llur grau de cloració, els més lleugers essent concentrats amb preferència a la fase dissolta. Això fa que aquests composts siguin transportats a més llarga distància que no pas els segons, que són incorporats al sediment (sedimentats) en una zona bastant pròxima a la boca del riu.⁷

Els sediments

La utilització dels sediments per a la vigilància de la contaminació del medi aquàtic presenta certs avantatges sobre l'anàlisi de les aigües. En primer lloc, les concentracions dels contaminants acostumen a ésser més elevades en els sediments, els quals integren a més la informació en el temps. D'aquesta manera, si hom analitza les diverses seccions d'un testimoni datat, pot obtenir fins i tot un registre de l'evolució històrica dels contaminants en qüestió.

L'anàlisi dels sediments és especialment indicada quan es tracta de conèixer la situació d'una zona àmplia i sobretot de posar de manifest efectes crònics. Tal és el cas que es presenta a la figura 3, corresponent al Programa de Vigilància de les costes catalanes que duem a terme en el Departament. Una sola campanya de mostreig permet una primera identificació dels punts «calents». A la figura són prou evidents els efectes de la ciutat de Barcelona. Aquesta evidència, per bé que estàtica, permet d'identificar també l'extensió de l'impacte de les descàrregues costaneres, que, com podem veure, tant en el cas de Barcelona com en el del riu Ebre es limita a una zona bastant propera a la costa.

De tota manera, aquesta estratègia no està exempta d'inconvenients. El primer rau en la dificultat d'un mostreig representatiu i reproductible. És extremadament difícil, en el mostreig, de no pertorbar la capa superficial dels sediments, que és la que conté la informació més recent. En el Mediterrani obert, per exemple, hom ha vist que els PCBs es concentren en el primer mil·límetre.⁸ És evident, doncs, que la pèrdua o pertorbació d'aquesta capa superficial falsejarà els resultats.

En aquest sentit és important d'adonar-se que la contaminació dels sediments no és tan sols funció de les aportacions dels contaminants, sinó també de la taxa de sedimentació. La distribució de contaminants en la columna sedimentària pot variar d'uns indrets a uns altres, com podem veure a la figura 4,⁹ i, si hom no pren això en consideració, serà difícil moltes vegades d'interpretar els

7. ALBAIGÉS, J., AUBERT, M., AUBERT, J. *Western Mediterranean* (Ed. R. Margalef), pp. 317-353, Pergamon Press (1985).

8. ELDER, D. L., VILLENEUVE, J. P., PARISI, P., HARVEY, G. R., *IAEA, Rep. Tech. Doc. 187* (Mònaco), pp. 136-151 (1976).

9. BOPP, R. F., SIMPSON, H. J., OLSEN, C. R., KASTYK, N. *Environ. Sci. Technol.*, 15, 210 (1981).

resultats. Així, una simple variació de la fondària a la qual s'agafa la mostra conduirà a resultats diferents.

Un altre factor que determina la concentració de contaminants en els sediments és llur natura o textura. En general hi ha una correlació positiva entre aquella i el contingut de fraccions més fines.¹⁰ És precisament a les zones costaneres o d'estuaris on hi ha una major variabilitat sedimentològica i, per tant, on aquest factor té una incidència més gran.

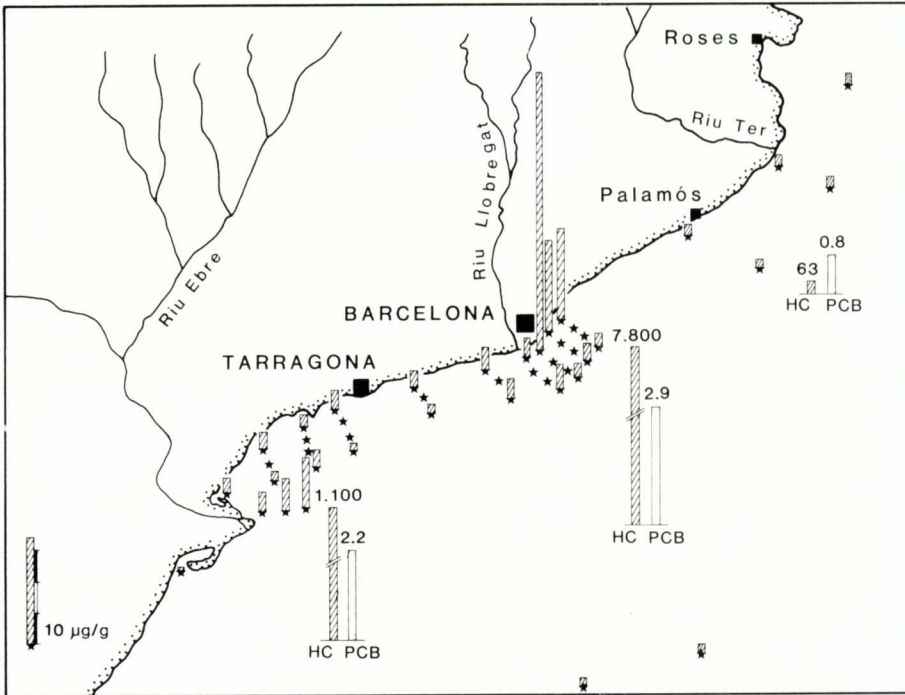


Fig. 3. - Estacions de mostreig de sediments dins el Programa de Vigilància del Mediterrani (*). Les barres ratllades indiquen les concentracions d'hidrocarburs saturats petrolígens en els sediments. També hi són indicats els continguts d'hidrocarburs petrolígens (HC) i de policlorobifenils (PCB) en mostres de fetge de molls de fang (*Mullus barbatus*) pescats davant Palamós, Barcelona i el Delta del Ebre. Els valors són donats en $\mu\text{g/g}$ de pes sec.

El tamisatge de les mostres només resol parcialment el problema, perquè també el contingut de matèria orgànica influeix en la retenció del contaminants, especialment els orgànics. Hom pot veure doncs que la interpretació dels resultats d'un programa de vigilància basat en la utilització de sediments és com-

10. BRASSELL, S. C., EGLINTON, G. *Analytical Techniques in Environmental Chemistry* (Ed. J. Albaigés), pp. 1-22, 1980, Pergamon Press, Oxford.

plexa i requereix el coneixement d'altres paràmetres com són les característiques sedimentològiques, la taxa de sedimentació, etc.

Una qüestió és difícil d'abordar emprant aquesta estratègia, i és la de conèixer els efectes que la presència dels contaminants pot tenir en el medi biòtic. Els sediments actuen de magatzem per a molts contaminants, però falta veure, per tal de determinar llurs efectes, si hi romanen immobilitzats (segrestats del medi) o bé si poden ésser remoguts. Això fa necessari introduir en el programa de vigilància els conceptes de biodisponibilitat i d'organisme indicador.

L'anàlisi d'organismes

La majoria d'organismes aquàtics acumulen contaminants persistents (metalls, hidrocarburs, etc.) El concepte d'organisme indicador es basa en la capacitat que certes espècies tenen de reflectir els nivells de contaminants en el medi,

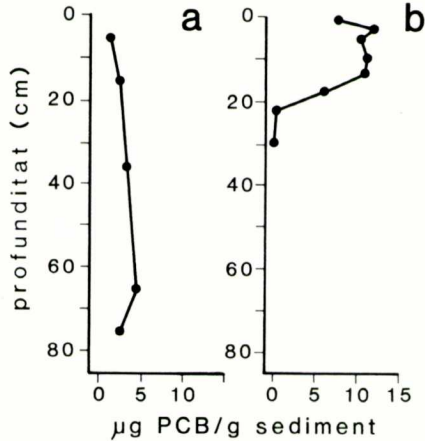


Fig. 4. - Variació de la concentració de PCB amb la fondària en sediments del port de Nova York i del riu Hudson, 83 km riu amunt de l'illa de Manhattan.⁹

tot acumulant-los en llurs teixits. L'anàlisi d'aquests bioindicadors proporciona aleshores informació integrada en el temps sobre els contaminants biodisponibles en l'àrea on els organismes han estat recollits. A les figures 3 i 5 és il·lustrada aquesta metodologia amb exemples de la costa catalana i de les rieres gallegues. En el primer cas fou emprat com a organisme indicador el moll de fang (*Mullus barbatus*) i en el segon el musclo (*Mytilus sp.*)

A la figura 3 podem apreciar la correlació entre les dades dels sediments i les dels peixos, com a resultat del tipus d'hàbitat del moll. Vegeu també que, mentre Barcelona és un focus important de contaminació per hidrocarburs, l'Ebre ho és pels composts organoclorats. D'altra banda, a la figura 5 es posa clara-

ment en evidència que a partir de l'anàlisi dels musclos hom pot saber quines són les ries més contaminades.

Els factors que influeixen en la capacitat d'un bioindicador per a representar els nivells dels contaminants del medi han estat discutits en detall per Phillips.¹¹ D'entre tots, els més importants són el contingut lipídic de l'organisme, la mida i l'edat. Altres factors són el sexe, l'estat de l'organisme, la seva posició en la columna d'aigua, etc. Malgrat la influència d'aquestes variables, la utilització dels organismes indicadors en un programa de vigilància del medi aquàtic

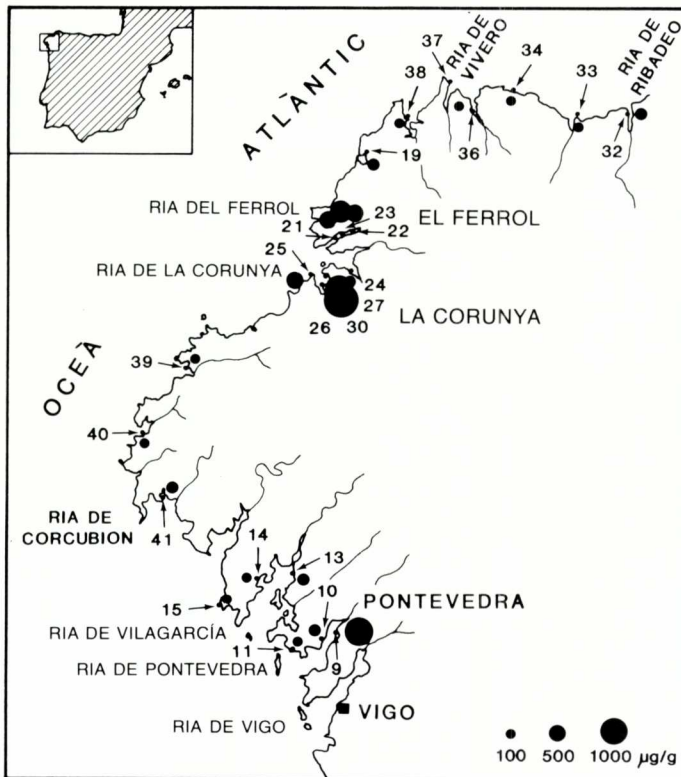


Fig. 5. - Concentracions d'hidrocarburs saturats petrolígens en musclos de les ries gallegues. Els valors són donats en $\mu\text{g/g}$ de pes sec.

és molt valuosa. El disseny del programa, però, haurà de considerar amb molta cura totes aquelles variables, per tal d'optimitzar la qualitat de la informació que se'n derivi. Són molts els estudis que originen dades de difícil interpretació per manca d'atenció a aquestes qüestions.

11. PHILLIPS, D. J. H. *Quantitative aquatic biological indicators - their use to monitor trace metal and organochlorine pollution*, 488 pp. Applied Sc. Londres.

Les principals característiques que han de reunir els organismes indicadors són:

1. Ésser cosmopolites i sedentaris, per tal de reflectir la situació d'una zona determinada.
2. Ésser abundants, fàcils de mostrejar i amb una quantitat adequada de teixit muscular per a analitzar.
3. Tolerar condicions ambientals variables.
4. Que tinguin valor comercial, de manera que els resultats tinguin una significació econòmica i sanitària.
5. Que hi hagi suficient informació de base sobre la biologia de l'organisme, cinètica d'assimilació i destoxificació dels contaminants, etc.
6. Que tinguin una mínima capacitat metabòlica per als contaminants en qüestió, de manera que actuïn fonamentalment d'acumuladors.

Malgrat tenir en compte tots aquests requeriments, poden sorgir problemes tant per una inadequada capacitat analítica com per manca de coneixements sobre la biodinàmica dels contaminants.

La producció de dades analítiques acurades és fonamental en un programa de vigilància. Si bé en el cas dels organismes les concentracions són molt més elevades que no pas en l'aigua, les dificultats analítiques vénen de la matriu lipídica de les mostres. És normal de trobar, en exercicis d'intercalibració entre laboratoris, dispersions en els resultats de l'ordre del 100 %, tant per a metalls com per a composts orgànics.¹² Aquestes aparents dificultats han fet girar novament l'atenció cap als mètodes d'anàlisi de l'aigua i especialment de concentració *in situ* dels contaminants.

D'altra banda és inadequat de suposar que un organisme és un bon indicador simplement perquè acumula alts nivells d'un contaminant particular o bé d'un grup de contaminants. Això és erroni, perquè, per exemple, molts crustacis acumulen grans quantitats de Cu però tenen un metabolisme regulador que els en fa ésser indicadors inadequats.¹³ Semblantment han estat descrits certs musclos que regulen l'acumulació del Zn.¹⁴

En altres casos, ha estat comprovat que la presència d'un contaminant pot interferir en la cinètica d'acumulació d'un altre. Així, el musclo *Mytilus edulis* és un inadequat bioindicador per al Cu, i l'alga *Laminaria digitata* ho és per al Zn, a causa de la interacció amb altres elements.^{15, 16} Altres exemples existeixen

12. UNEP-CSIC-IOC. Intercalibration Exercise for Hydrocarbons in biota and sediments. Barcelona, 1984. IOC-UNESCO, París.

13. BRYAN, G. W. dins *Marine Pollution* (Ed. R. Johnston), pp. 185-302. Academic Press, Londres.

14. PHILLIPS, D. J. H., YIM, W. W. S. *Mar. Ecol., Progr. Ser.*, 6, 285 (1981).

15. PHILLIPS, D. J. H., *Mar. Biol.*, 38, 59 (1976).

16. BRYAN, G. W. *J. Mar. Biol.*, 49, 225 (1969).

pel que fa als contaminants orgànics, els mecanismes de destoxificació dels quals poden veure's alterats en els organismes aquàtics per la presència d'altres contaminants.

El coneixement de la cinètica dels contaminants és d'especial importància per a decidir la periodicitat dels mostreigs. Si la vida mitjana biològica d'un element és d'anys, el mostreig podrà espaiar-se més que no pas si és de setmanes. En general podem dir que la vida mitjana disminueix dels metalls als organoclorats i als hidrocarburs. També dins una mateixa família de composts hi ha marcadament selectivitats depenents de les característiques estructurals dels mateixos, com és indicat a la figura 6 per als PCBs.¹⁷

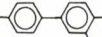



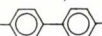

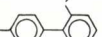



| | ESTRUCTURA | NÚM. D'ÀTOMS DE CL-ORTO | VIDA MITJANA BIOLÒGICA (DIES) |
|---|---|----------------------------|----------------------------------|
| M |  | 0 | 94.4 |
| E |  | 1 | 62.4 |
| T |  | 1 | 56.8 |
| A |  | 1 | 56.3 |
| B |  | 1 | 46.5 |
| O |  | 2 | 18.2 |
| L |  | 2 | 9.4 |
| I |  | 2 | 8.7 |
| S |  | 2 | 5.3 |
| M |  | 3 | 1.8 |
| E | | | |

Fig. 6. - Vida mitjana biològica dels PCB en funció del nombre d'àtoms de clor en posició orto, a la carpa (*Cyprinus carpio*).

Com podem veure, la utilització d'organismes indicadors per a la vigilància del medi aquàtic, bé que és la que ofereix més avantatges, és també la que requereix uns majors coneixements de base per a la interpretació dels resultats.

Queda clar que tots els compartiments del medi aquàtic tenen una determinada capacitat d'acumular contaminants i, per tant, d'ésser incorporats en un sistema de vigilància. El més important a l'hora de dissenyar-lo és, però, el de definir amb precisió quins són els objectius que hom persegueix. El plantejament serà diferent si es tracta de determinar les variacions temporals de la con-

17. TANABE, S., MARUYAMA, K., TATSUKAWA, R. *Agric. Biol. Chem.*, 46, 891 (1982).

taminació en una zona o bé d'identificar-ne els «punts calents». També serà diferent si es tracta d'avaluar el possible impacte de la contaminació del medi aquàtic en els organismes que hi viuen o en la salut humana. En qualsevol cas, un sistema de vigilància no ha d'ésser considerat com un objectiu en ell mateix sinó com un instrument de coneixement del medi, que s'haurà d'anar modificant o millorant a mesura que hom vagi disposant de nova informació.

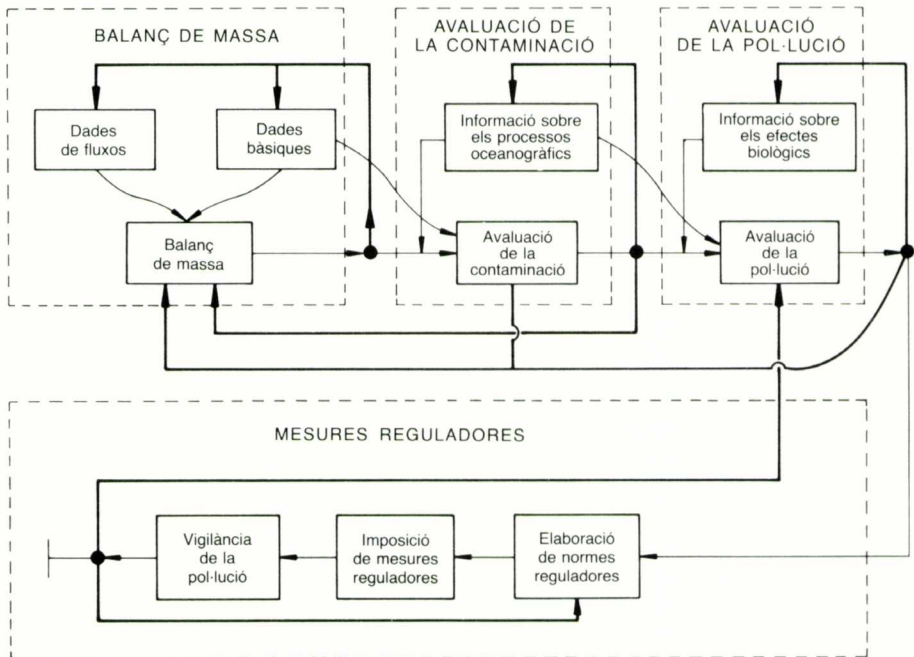


Fig. 7. - Esquema d'un Pla general per al control de la contaminació del medi aquàtic.

Components d'un Pla general de control del medi aquàtic

Els sistemes de vigilància que han estat descrits en l'apartat precedent són peces essencials de tot Pla de control de la qualitat del medi, els principals components del qual, que presentem a la figura 7, són:

- I) l'establiment del balanç de massa dels contaminants,
- II) l'avaluació de la contaminació del medi,
- III) l'avaluació de la pol·lució, i
- IV) l'establiment de les mesures reguladores.

Convé precisar que la contaminació i la pol·lució es diferencien, segons el GESAMP (Grup d'experts en aspectes científics de la contaminació del mar), en el fet que la primera tracta dels efectes dels contaminants en els compartiments abiòtics, mentre que la segona inclou els efectes sobre el medi biòtic o sobre la salut.¹⁸

I) Les primeres dades que són necessàries per a l'establiment del Pla són les corresponents a la distribució dels contaminants en els diversos compartiments, a partir de les quals hom mirarà de calcular els fluxos d'entrada i sortida de contaminants del medi, és a dir el balanç de massa de cada contaminant. Si el medi és estacionari, la relació entre ambdós definirà el temps de residència dels contaminants. Si hi ha més entrades que no pas sortides, el temps que el sistema trigui a assolir l'equilibri definirà la seva capacitat de regulació.

Les aportacions o entrades poden ésser directes o indirectes, aquests a través d'altres compartiments com ara l'atmosfera. Les sortides poden ésser per processos físics (transport, volatilització, sedimentació...) químics (fotooxidació...) o biològics (degradació, acumulació...)

Plantejada així aquesta etapa, queda clar que les dades que aporta un sistema de vigilància són fonamentals per a l'execució del Pla, però que farà falta complementar-les amb altres relatives al sistema (hidrologia, biologia, etc.) per a donar-los una significació més enllà del simple inventari.

II) L'etapa següent consisteix a avaluar la contaminació del medi, tenint en compte els coneixements que hom té dels processos físics i biogeoquímics que hi transcorren.

Millorar aquest coneixement quan hom no el té o és insuficient és també un aspecte essencial de l'estratègia global d'un Pla de control. Aquestes investigacions s'haurien de centrar en les fonts, les rutes que segueixen els contaminants en el medi i els magatzems o destinacions finals, per tal de veure sobretot si el sistema correspon o no a un estat estacionari. En aquest punt és fonamental de considerar el transport dels contaminants segons que es trobin en forma dissolta o particulada, així com els bescanvis amb l'atmosfera i els sediments. La natura dels processos interns de reciclatge i eliminació seran posats de manifest gràcies a les investigacions biogeoquímiques.

III) Per a l'etapa següent, la de l'avaluació de la pol·lució del medi, les dades que hom necessita es refereixen als efectes dels contaminants en els organismes marins i en l'home. En primer lloc caldrà conèixer els efectes a llarg termini dels contaminants sobre l'estabilitat de l'ecosistema aquàtic. En segon lloc, les relacions entre les concentracions dels contaminants i els nivells de risc per ingestió de productes aquàtics o bé per exposició directa (cas del bany). Aquí

18. GESAMP. Reports Studies N.º 18. Ginebra (1983).

s'haurà de tenir en compte la transferència de contaminants dins la cadena tròfica.

La major dificultat d'aquesta etapa està en l'estimació dels efectes crònics o a llarg terme. Normalment els paràmetres clàssics de valoració de la toxicitat, com la DL_{50} , no són d'aplicació en estudis ambientals perquè les concentracions són gairebé sempre inferiors. Aquí hi ha, doncs, un camp important d'investigació.

IV) La darrera etapa del Pla consisteix a saber si, a la vista de la situació observada, cal prendre o no mesures reguladores, i els procediments per a llur aplicació. Si ha d'ésser així, és evident que s'hauran d'establir els controls pertinents, inclòs el de les fonts o punts d'emissió. Una vegada aquests funcionin, s'haurà de controlar els efectes en la millora de la qualitat del medi i, cas que aquesta no sigui satisfactòria, s'hauria de retroalimentar el sistema amb noves mesures.

En resum, podem concloure que un sistema de vigilància del medi aquàtic és quelcom més que un exercici de determinació rutinària o aleatòria de contaminants. Un enfocament lògic i científic del problema exigeix d'acoblar-lo a un programa de coneixement global del medi, programa que ha de tenir una base necessàriament multidisciplinària. A mesura que aquest coneixement sigui més precís, l'esforç analític podrà ésser menor i més selectiu, tot concentrant-lo en aquelles àrees que hagin estat reconegudes com a més crítiques.

Objectius a assolir seran el de la quantificació de les aportacions que hi arriben i l'estimació de la capacitat assimilativa del medi, tot això per a una adequada avaluació de l'impacte ambiental que els contaminants en qüestió poden ocasionar-hi. Finalment, un sistema de vigilància ha de proporcionar la informació adequada per a poder establir mesures reguladores i per a poder seguir els efectes de llur implantació en la millora del medi.