

## **EFFECTOS DAS MAREAS NEGRAS EN ORGANISMOS E COMUNICADES VEXETAIS**

**FRAGA VILA, M<sup>a</sup> Isabel**

*Dpto. Botánica. Facultade de Bioloxía*  
UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

### **LIMIAR**

As «mareas negras» son vertidos de grandes cantidades de petróleo ou dos seus derivados no mar onde, arrastrados polos ventos e correntes mariñas, chegan ata a costa, producindo graves problemas de contaminación nos ecosistemas do litoral.

Diferentes factores ambientais, ademais das características dos hidrocarburos, van influír de xeito notable nas consecuencias ecolóxicas e biolóxicas desta contaminación. Destes factores salientan os xeográficos, oceanográficos, meteorolóxicos, estacionais, ecolóxicos e os propios de cada especie particular .

Cando o vertido se produce no mar aberto, é posible que se espalle en enormes volumes de auga, causando danos moito menores que cando chega á costa. No litoral os efectos van depender do grao de exposición á acción das ondas e do tipo de substrato. Nas áreas rochosas expostas ás ondas e con escasa ou nula cuberta vexetal, os danos son menores e a velocidade de recuperación elevada, porque o petróleo ou os seus derivados dificilmente quedan pegados ás rochas e o mar limpa todo axiña. Se aumenta a cuberta vexetal, incrementase tamén a persistencia do petróleo, pois queda aprisionado sobre, e entre, as algas. Os danos son maiores nas augas protexidas e pouco fondas, onde o petróleo queda retido, chegando a acadar elevadas concentracións no medio.

Nos substratos areosos, de gravas ou pedras, os hidrocarburos penetran doadamente e poden quedar enterrados longos períodos de tempo. Nas chairas

fangosas e marismas é onde a persistencia é maior, polo que a recuperación é máis dificultosa.

**Táboa 1. Ordenación de diferentes ecosistemas en función da súa vulnerabilidade, baseado en Gundlach e Hayes (1978<sup>1</sup>)**

Hábitat	Recuperación
Cantís rochosos expostos	Natural, relativamente rápida. En presenza de fortes ondas non son <u>necesarias labores de limpeza</u>
Plataformas rochosas expostas	A acción das ondas limpa en poucas semanas, xeralmente non fai <u>falla limpeza</u>
Praias de area fina planas	Fórmase unha capa superficial con pouca penetración pero persistente. Cómpre realizar labores de limpeza no nivel superior da marea, <u>o nivel inferior límpase por acción das ondas.</u>
Praias con area intermedia	A capa de hidrocarburos pode penetrar ata 1m no sedimento. É necesario profundar nos labores de limpeza que deben concentrarse no nivel superior da marea, procurando alterar a praia <u>o menos posible.</u>
Chairas mareais expostas	Aínda que a penetración no substrato xeralmente é reducida, pode causar danos ós organismos. Só se a contaminación é elevada son <u>necesarios labores de limpeza.</u>
Praias mixtas de area e grava	A penetración e enterramento son rápidos. Os hidrocarburos persisten e producen efectos a longo prazo. A limpeza é difícil e <u>deberá realizarse procurando alterar a praia o menos posible.</u>
Praias de gravas	Xeralmente a penetración é profunda e os hidrocarburos quedan enterrados. A limpeza é difícil e a eliminación da grava manchada <u>pode provocar problemas de erosión na praia.</u>
Costa rochosa abrigada	Os derivados do petróleo péganse ás rochas e cubetas producindo severos danos ós organismos. A limpeza natural é moi lenta e a artificial <u>pode causar máis dano que se queda sen tratar.</u>
Chairas mareais abrigadas	Prodúcense danos biolóxicos a longo prazo. Eliminar o contaminante é case imposible sen causar danos posteriores. A limpeza é necesaria só se a contaminación é moi forte
Marismas	Eliminar o contaminante é case imposible sen causar danos posteriores. Prodúcense efectos nocivos a longo prazo que poden persistir 10 anos ou máis.

Factores oceanográficos e meteorolóxicos tais como correntes, mareas, enerxía das ondas, ventos e temperatura van exercer unha notable influencia, non só nos lugares de maior acumulación do contaminante, senón tamén na súa evolución. Como resultado da interacción destes factores coa composición química do vertido, este formará unha emulsión superficial, disolverase e espallarse na columna de auga ou será unha masa viscosa que recubra superficies e fondos mariños. As temperaturas altas e os fortes ventos aumentan a taxa de evaporación dos hidrocarburos aromáticos volátiles, que son os máis tóxicos, o que favorece unha diminución da toxicidade na auga. A temperatura afecta ademais á viscosidade, o que repercute na súa capacidade de espallamento e de penetración nos diferentes substratos.

A estación do ano, ó estar relacionada cos ciclos biolóxicos da gran maioría de especies vexetais, tamén é un factor importante. Nos meses de inverno hai especies anuais que están representadas soamente polas súas diásporas e especies perennes cos seus aparatos vexetativos desenvolvidos. Ademais, os niveis de sensibilidade ou tolerancia a determinados hidrocarburos non só varían dunha especie a outra, senón tamén dentro dunha mesma especie en función do seu estado fenolóxico (as fases xuvenís, en xeral, son as máis sensibles), e do tipo e concentración de hidrocarburos, así como do tempo de exposición ós mesmos.

Como síntese pódese dicir que os danos producidos por unha marea negra van a depender do tipo e cantidade do vertido, da frecuencia e exposición dos organismos ó mesmo, das condicións ambientais e da sensibilidade de cada especie.

## **EFFECTOS EN ORGANISMOS VEXETAIS**

De acordo con Scholz *et al.* (1992<sup>2</sup>), pódense diferenciar 2 tipos de efectos:

### **Toxicidade aguda:**

Son os impactos inmediatos que producen a morte do organismo.

Deste tipo é o proceso físico de asfixia que se produce cando o organismo queda fortemente cuberto por unha capa de hidrocarburos que impide o intercambio gasoso co medio e a captación da enerxía luminosa, polo que os procesos vitais básicos quedan bloqueados.

Tamén poden ser de tipo químico debido ás propiedades tóxicas dalgunhas compoñentes e ás concentracións e doses que o organismo recibe. En diferentes especies comprobouse que unha simple dose dunha sustancia tóxica a altas concentracións pode ter o mesmo efecto que repetidas doses a concentracións máis baixas (De la Cruz *et al.*, 1981<sup>3</sup>).

### **Efectos crónicos:**

Algúns efectos tóxicos non son evidentes inmediatamente ou poden non causar a morte do organismo, son os que se chaman crónicos ou subletais e poden afectar á fisioloxía, comportamento ou reprodución dos organismos. Son máis difíciles de detectar cós agudos e xeralmente precisan estudos polo miúdo e a longo prazo.

## FITOPLANCTON

O fitoplancton é unha mestura complexa de especies, con diferentes niveis de tolerancia ós hidrocarburos. Algunhas son máis resistentes (nanoflaxelados e diatomeas de pequeno tamaño) ca outras (diatomeas centrais). Nalgunhas especies sensibles observáronse alteracións na taxa fotosintética que causaban inhibicións no medre (Scholz *et al.*, 1992<sup>2</sup>), mentres que as especies resistentes proliferaban favorecidas pola marea negra, por mor do seu elevado ritmo de reprodución, así como pola falta de competencia coas especies sensibles polos recursos do medio e por unha menor presión dos depredadores, causada polas elevadas taxas de mortalidade do zooplancton.

Segundo Scholz *et al.* (1992<sup>2</sup>), aínda que o fitoplancton é xeralmente menos sensible ós efectos que o zooplancton, observáronse efectos agudos e crónicos a concentracións de 1-10 mg/l. As algas unicelulares poden absorber e metabolizar tanto hidrocarburos alifáticos como aromáticos.

Dado que o tempo de rexeneración é moi curto nas algas unicelulares, calquera impacto nestas poboacións pode ser de curta duración (Scholz *et al.*, 1992<sup>2</sup>)

A *International Petroleum Industry Environmental Conservation Association* (IPIECA, 1991<sup>4</sup>) considera que non se observaron efectos moi graves sobre o fitoplancton en alta mar, o que pode ser real ou debido á escaseza de traballos de investigación sobre este tema.

## FITOBENTOS

A diferenza do fitoplancton, son numerosas as publicacións existentes sobre os efectos das mareas negras nas algas bentónicas mariñas.

Nos niveis supramareal e intermareal, os efectos máis destacados, nos casos en que os compostos volátiles tiveron tempo para evaporarse antes de acadar a costa, son de tipo físico (Lobban e Harrison, 1994<sup>5</sup>). Fortes deposicións de hidrocarburos na flora intermareal semellan causar máis danos por mor da asfixia e da adsorción dos hidrocarburos que por problemas de toxicidade. As especies máis afectadas son as que viven preto dos lindes superiores das mareas vivas, onde os hidrocarburos poden permanecer longos períodos de tempo. Moitas algas pardas e vermellas que viven nos lindes superiores da marea a miúdo convértense en lipofílicas ó quedar expostas ó aire e secarse (O'Brien e Dixon 1976<sup>6</sup>), o que lles confire unha forte capacidade de adsorción dos derivados do petróleo, como se comprobou en *Ascophyllum nodosum*, *Fucus* spp, *Pelvetia canaliculata*, *Mastocarpus stellatus* e *Gelidium*

*crinale*. Estas e outras algas poden adquirir un elevado sobrepeso polos hidrocarburos adheridos á súa superficie e rachar por acción das ondas. En algas con rebrotes basais anuais a perda das láminas distais pode afectar á planta o mesmo que as provocadas polas treboadas do inverno (Nelson-Smith 1972<sup>7</sup>). Sen embargo, as perdas de demasiadas láminas fotosintéticas durante a estación de medre, cando se produce o almacenamento de produtos de reserva, poden prexudicar a capacidade de rexeneración (O'Brian e Dixon 1976<sup>6</sup>). A fragmentación e outros danos que sofren as algas por este mecanismo están asociados cos hidrocarburos de maior peso molecular, insolubles na auga.

Os mucílagos que presentan as grandes algas pardas do nivel inframareal dificultan a adsorción dos hidrocarburos, especialmente se os seus talos permanecen sempre mergullados. Ás veces obsérvase que só os extremos distais das láminas que quedan expostas ó aire durante a marea baixa aparecen impregnados de hidrocarburos, mentres que as partes mergulladas consérvanse limpas ou pouco afectadas.

Os hidrocarburos que se disolven na auga poden penetrar no interior das algas e producir alteracións no seu metabolismo celular. A penetración vai depender das características da superficie do talo e dos hidrocarburos. Os talos delgados e os que non están protexidos por unha envolta mucilaxinosa son os máis sensibles. Os hidrocarburos que pasan ó seu interior con máis facilidade son os aromáticos, polo seu carácter lipofílico e o seu baixo peso molecular. As compoñentes menos tóxicas e menos solubles na auga son os alcanos de longas cadeas. De toxicidade intermedia son os cicloalcanos.

Os hidrocarburos tóxicos semellan producir danos na capa lipofílica da membrana celular, alterando a súa capacidade de controlar axeitadamente o transporte de ións dentro e fóra da célula (Lobban e Harrison, 1994<sup>5</sup>).

Alteracións do metabolismo celular xeralmente foron analizadas en bioensaios de laboratorio, por medio do control de cambios en fotosíntese, respiración, medre, reprodución, contido en pigmentos, morfoloxía e ultraestructura.

Na táboa 2 expónse un resumo dalgúns traballos relacionados con efectos tóxicos que afectan á actividade fotosintética. En ningún dos citados traballos foron investigados os mecanismos reais de inhibición. Isto débese principalmente á dificultade de separar o efecto tóxico dos efectos puramente mecánicos, do recubrimento do talo e da redución na luz que recibe a planta. Nas algas vermellas é frecuente o branqueamento, probablemente debido á destrución da ficoeritrina por compostos de tipo queroseno. Pigmentos liposolubles como as clorofilas poden ser arrastrados fóra das células (O'Brien e Dixon, 1976<sup>6</sup>).

**Táboa 2. Alteracións metabólicas producidas por derivados do petróleo nas algas bentónicas**

Efectos tóxicos	Doses	Tempo de exposición	Especie	Autor
Completa inhibición da fotosíntese	1% diesel	3 días	<i>Macrocystis</i> sp.	North <i>et al.</i> (1965 <sup>8</sup> )
50 % Reducción da fotosíntese	10-100 ppm fuel non específico	4 días	<i>Macrocystis pyrifera</i>	Clendenning e Noth (1960 <sup>9</sup> )
Inhibición da fotosíntese	7 ppm de petróleo cru		<i>Cladophora stimpsonii</i> <i>Ulva fenestrans</i> <i>Laminaria sacharina</i>	Shields <i>et al.</i> (1973 <sup>10</sup> )
Inhibición da fotosíntese	Extracto de cru		<i>Acterosiphonia sonderi</i>	Lobban e Harrison, (1994 <sup>5</sup> )
Inhibición do desenvolvemento	> 200 µg L <sup>-1</sup> petróleo		<i>Fucus edentatus</i> <i>Laminaria sacharina</i>	Steele e Hanisak, (1979 <sup>11</sup> ).
Inhibición da respiración	fenol a 100 ppm	Inmediata	<i>Laminaria hyperborea</i>	Hopkin e Kain (1978 <sup>12</sup> )
Inhibición da actividade do DNA e RNA	100-10000 ppm petróleo	24h	<i>Ulva lactuca</i>	Davavin <i>et al.</i> (1975 <sup>13</sup> )
Reducción do medre en lonxitude 50%	130 µg L <sup>-1</sup> de diesel	2 anos	<i>Ascophyllum nodosum</i> <i>Laminaria digitata</i>	Bokn (1987 <sup>14</sup> )
Toxicidade aguda	1000-10.000 mg L <sup>-1</sup> Gasolina, tolueno e <i>m</i> -xileno		<i>Porphyra suborbiculata</i> <i>Monostroma nitidum</i>	Tokuda (1987 <sup>15</sup> )

Hai problemas na interpretación de moitas das primeiras publicacións, especialmente cando se utilizaba petróleo cru (Vandermeulen e Ahern, 1976<sup>16</sup>; Vandermeulen 1987<sup>17</sup>) porque non se facían análises cualitativas e cuantitativas dos hidrocarburos nos medios de cultivo utilizados nos bioensaios.

Os efectos na respiración das algas non se coñecen ben pola escaseza de traballos experimentais (Vandermeulen 1987<sup>17</sup>). Os hidrocarburos tóxicos poden interferir en diferentes procesos respiratorios como son a difusión de gases, glicólise e fosforilación oxidativa (Lobban e Harrison, 1994<sup>5</sup>). O bloque mecánico da difusión de gases pode ser menos pronunciado para o osíxeno que para o dióxido de carbono (Schramm 1972<sup>18</sup>).

Tamén se observaron efectos tóxicos que afectan á reprodución. Algas pardas dioicas dos xéneros *Fucus* e *Ectocarpus* segregan hidrocarburos oleofílicos na auga como atraentes dos gametos. Derenbach e Gereck (1980<sup>19</sup>) observaron que unha combinación, máis que un simple composto, de hidrocarburos derivados do petróleo atraían ós espermatozoides, pero a unha concentración 100 veces superior á que funciona o fucoserrateno (atraente natural de espermatozoides de *Fucus*).

Algúns estadios reproductivos de *Fucus edentatus* e *Laminaria sacharina* son especialmente sensibles ó petróleo, especialmente durante a liberación de gametos e esporas (Steele e Hanisak, 1979<sup>11</sup>). Concentracións de cru de 2mg L<sup>-1</sup> bloquearon a fecundación en *Fucus edentatus*, aparentemente por toxicidade nos espermatozoides. Esporas de *Laminaria sacharina* non xerminaron a concentracións de cru superiores a 20 mgL<sup>-1</sup>.

Outro aspecto importante a salientar é o impacto das mareas negras nas comunidades de algas bentónicas mariñas. Este tipo de traballos realízase nos lugares nos que medran estas comunidades de forma natural e que se viron afectados pola contaminación. Os efectos ecolóxicos do petróleo e os seus derivados examináronse nalgúns habitas específicos de macroalgas, contrastándoos coa situación previa ó vertido.

Glemarec (1981<sup>20</sup>), na súa nota de síntese sobre o impacto ecolóxico no intermareal producido pola marea negra do petroleiro «Amoco Cadiz» nas costas de Bretaña, destaca que o impacto se asocia a 3 grandes tipos de fenómenos:

- 1- Regresión das poboacións por mortalidade ou dexeneración
- 2- Posta en marcha dunha sucesión secundaria causada pola aparición de espazos baleiros e pola modificación dalgúns parámetros ecolóxicos
- 3- Perturbación de parámetros biolóxicos (taxa de fecundidade, medre).

As primeiras macroalgas que recolonizaron a costa de Cornualles, afectada por o vertido do «Torrey Canyon» en 1967, pertencían ós xéneros *Ulva* e *Enteromorpha*. Estas algas axiña cubriron as áreas que quedaran desprovistas de vexetación, debido ó seu rápido medre e a que os seus depredadores morreran polos efectos tóxicos dos hidrocarburos. Outro cambio observado foi que o linde superior de *Laminaria digitata* e *Hymanthalia elongata* elevouse 2m por riba do nivel normal, durante os primeiros anos da sucesión (Freedman 1989<sup>21</sup>).

Floc'H e Diouris (1981<sup>22</sup>) estudaron os efectos da marea negra do «Amoco Cadiz» sobre as algas do litoral próximo a Portsall, nunha zona localizada a só 2 km do lugar do naufragio, polo que a esta costa estudiada chegaran as primeiras capas de petróleo aínda conservando fraccións aromáticas, consideradas como as máis tóxicas. O impacto foi progresivo e adiouse cando menos 8 meses despois do vertido. Observaron que, de xeito xeral, a importancia dos danos dependeu máis da duración do contacto coa mestura de hidrocarburos que da sensibilidade das especies. No nivel supramareal *Pelvetia canaliculata* sufriu unha eliminación drástica nalgúns puntos abrigados, lenta

nas primeiras semanas e acelerada bruscamente 3 meses despois, chegando ó máximo ó cabo de 8 meses. Un ano despois comezouse unha recolonización das rochas núas. Algunhas algas vermellas das mesmas rochas, como *Catenella caespitosa*, sufriron danos máis rápidos e marcados, desaparecendo completamente ás 4 semanas. A banda de *Fucus spiralis* sufriu un deterioro parello ó da *Pelvetia*. Neste mesmo nivel, as poboacións de *Hildenbrandia prototypus* e *Rhodothamniella floridula* foron totalmente eliminadas durante as primeiras semanas de contaminación. Nas rochas expostas deste mesmo nivel case non houbo danos.

Nos niveis intermareal e submareal, o contacto co contaminante foi menos prolongado e os danos nas algas, menores, aínda que algunhas especies máis sensibles como *Ceramium* spp e *Pylaiella littoralis* sufriron notables danos que se manifestaban exteriormente pola perda de coloración. Noutras especies como *Gigartina stellata* e *Chondrus crispus* os talos eran máis febles na súa fixación e ó desprenderse das rochas deixaban superficies núas que eran colonizadas máis tarde por *Fucus vesiculosus*.

En catro localidades da costa de Bretaña (Arcouest, Roscoff, Portsall e Porspoder), tamén afectadas pola marea negra do «Amoco Cadiz», Kaas (1981<sup>23</sup>) observou un incremento no medre e na actividade metabólica de *Laminaria digitata* debido á eutrofización do medio, producida polo aumento na concentración de hidrocarburos. Sen embargo, tamén houbo danos que afectaron á dinámica das poboacións desta especie, xa que a fase crítica do seu ciclo de reprodución é a que sigue á liberación de esporas, que posúen unha autonomía de 24-48 horas e ó non poder fixarse nas rochas recubertas pola mestura de hidrocarburos, gran parte se perderon. Tamén nestas catro localidades observou unha evidente perda de biomasa en *Chondrus crispus*, que foi 2-3 veces inferior á de anos anteriores.

Le Hir e Hily (2002<sup>24</sup>) avaliaron os efectos da marea negra provocada polo vertido do «Erika» nas costas de Bretaña. O mesmo que no caso do «Amoco Cadiz», a contaminación do «Erika» produciuse principalmente no nivel supramareal, no intermareal superior e no terrestre adxacente, debido ás mareas e temporais. Nas fendas das rochas acumuláronse hidrocarburos que impregnaron os talos de *Catenella caespitosa* que, aínda que durante os primeiros meses parecían estar pouco afectados, acabaron morrendo oito meses despois do comezo da marea negra.

Nas costas galegas a marea negra do «Prestige» tamén causou danos nas comunidades de algas bentónicas. Dos relacionados con problemas de asfixia por recubrimento, o máis común semella ser o debilitamento da capacidade de fixación ás rochas, o que causa perdas de biomasa e redución na cuberta vexetal das rochas, aumentando a extensión de superficies núas.



Dado o escaso período de tempo transcorrido desde que se iniciou o vertido (novembro de 2003) gran parte dos danos aínda non puideron ser avaliados. Na táboa 3 expóñense algúns dos efectos observados por Pérez-Cirera *et al.* (2003<sup>25</sup>), tres meses despois do comezo da marea negra.

**Táboa 3. Impacto da marea negra do Prestige en algas bentónicas segundo Pérez-Cirera *et al.* (2003<sup>25</sup>)**

Ría	Localidade	Especie	Danos
Camariñas	Punta da Barca	<i>Bifurcaria bifurcata</i> <i>Chondrus crispus</i> <i>Mastocarpus stellatus</i>	Débil fixación ás rochas
Camariñas	Praia de Espiñeirido	<i>Sargassum muticum</i> <i>Fucus vesiculosus</i> <i>Osmundea pinnatifida</i> <i>Mastocarpus stellatus</i> <i>Chondrus crispus</i> <i>Rhodothamniella floridula</i>	Débil fixación ás rochas
Camariñas	Praia da Cruz	<i>Pelvetia canaliculata</i> <i>Fucus spiralis</i>	Débil fixación ás rochas
Lires	Esteiro	<i>Bostrychia scorpioides</i>	Decoloración e perda de vitalidade
Lires	Desembocadura da ría	<i>Pelvetia canaliculata</i> <i>Mastocarpus stellatus</i> <i>Rhodothamniella floridula</i>	Débil fixación rochas

Ademais dos efectos directos dos derivados do petróleo, cómpre ter en conta os indirectos derivados dos labores de limpeza. Tampouco hai que esquecer que, a miúdo, solápanse outros causados por temporais e por importantes aportes de auga doce.

Nas zonas intermareais impactadas pola marea negra do «Exon Valdez» as plantas de *Fucus* sobreviviron petroleadas en numerosas localidades, pero sufriron graves danos pola limpeza das rochas con auga quente (Houghton *et al.*, 1991<sup>26</sup>).

O uso de auga a alta presión tamén tivo un impacto radical na abundancia de *Catenella caespitosa* afectada pola marea negra do «Erika» (Le Hir e Hily, 2002<sup>24</sup>). Os espazos que quedaron baleiros foron colonizados o seguinte verán por *Enteromorpha* spp.

Tamén se constatou que, a miúdo, o uso de dispersantes produciu danos engadidos ó efecto tóxico dos hidrocarburos (Foster *et al.* 1990<sup>27</sup>). Decoloracións observadas en algas do xénero *Corallina* da costa de Cornualles

afectada pola marea negra do «Torrey Canyon» puideron deberse, parcial ou totalmente, ós dispersantes empregados nas labores de limpeza (Boney 1970<sup>28</sup>).

## LIQUES

Nos niveis intermareal superior e supramareal das costas rochosas son frecuentes as comunidades liquénicas. Liques afectados pola marea negra do «Torrey Canyon» en Cornualles (Nelson-Smith, 1968 <sup>a</sup><sup>29</sup>, <sup>b</sup><sup>30</sup>; Ranwell 1968<sup>31</sup>; Smith 1968<sup>32</sup>) ou na Badía de Bantry (Cullinan *et al.*, 1975<sup>33</sup>) sufriron danos cando o petróleo estivo tempo dabondo en contacto cos talos, a acción foi de tipo físico máis ca químico, xa que o petróleo impedía o intercambio gasoso e a penetración da luz. Nalgúns especies os primeiros síntomas evidentes eran cambios de cor e enrolamento dos extremos dos lóbulos dos talos liquénicos.

Nas costas de Bretaña impactadas pola marea negra do «Amoco Cadiz» os efectos sobre a flora liquénica foron variados (Lallemant e van Haluwyn, 1981<sup>34</sup>). A banda de *Verrucaria* foi a máis afectada xa que quedou totalmente cuberta polos hidrocarburos. Algúns liques que estiveran cubertos polo petróleo morreron, pero outros que, nun principio aparentemente non estaban afectados, logo dun ano presentaban unha escasa actividade fotosintética, áreas necrosadas e se desprendían do substrato, o que causou a desaparición de poboacións. Nalgúns puntos a descolonización foi total. As especies máis afectadas foron *Lichina pigmaea*, *Ramalina siliquosa*, *Dermatocarpon miniatum* e *Xanthoria parietina*.

Os danos máis importantes producíronse polos labores de limpeza, en particular pola utilización de deterxentes tóxicos e vapor de auga. En estudos experimentais con *Lichina pigmaea* observouse que o efecto tóxico máximo produciuse despois de 12 horas de exposición do lique ó dispersante BP 1002. A fracción máis tóxica do dispersante foi o seu solvente (Lallemant e van Haluwyn, 1981<sup>34</sup>). O deterxente destruíu completamente os liques foliáceos.

Nas costas galegas a marea negra do «Prestige» tamén impactou negativamente as poboacións liquénicas, de xeito semellante ó acontecido anteriormente nas costas de Bretaña. Pese a que non houbo tempo aínda para realizar estudos detallados, en diferentes localidades observáronse liques mortos totalmente recubertos pola masa de hidrocarburos e tamén outros con talos máis ou menos limpos pero con reducida vitalidade e débil fixación ás rochas. *Ramalina siliquosa*, *Lecanora atra*, *Pertusaria* sp, *Xanthoria parietina*, *Xanthoria ectaneoides*, *Caloplaca mariña* e *Lichina pigmaea* son algunhas das especies aparentemente máis impactadas en Galicia.

## PLANTAS VASCULARES

As praderías mariñas do intermareal inferior e do submareal, formadas por especies do xénero *Zostera*, en xeral vense pouco afectadas polas mareas negras, xa que normalmente non teñen contacto directo co contaminante. As zosteras semellan ser pouco vulnerables, quizais debido a que entre o 50 e o 80% da súa biomasa está nos seus rizomas que están enterrados nos sedimentos, xeralmente menos impactados. Incluso, se os tallos e follas están afectados, as plantas poden sobrevivir e ser capaces de rebrotar (Zieman *et al.* 1984<sup>35</sup>). Exemplanes de *Zostera mariña* parcialmente recubertos por hidrocarburos da marea negra do «Amoco Cadiz», non semellaron sufrir alteracións importantes nas súas actividades vitais (Zieman *et al.* 1984<sup>35</sup>).

As marismas son ecosistemas de elevado interese ecolóxico, cun equilibrio hidrosedimentario fráxil e unha vexetación característica. Os impactos nestes ecosistemas son de dous tipos, os derivados directamente dos efectos nocivos dos hidrocarburos e os relacionados cos labores de limpeza. Estes últimos son normalmente os que causan máis danos. Nas marismas de Îlle Grande e outras localidades do litoral de Bretaña impactadas pola marea negra do «Amoco Cadiz», a contaminación e os labores de limpeza produciron unha importante redución da súa cuberta vexetal, ademais de fondas modificacións nos tipos e distribución de hábitats (Levasseur *et al.*, 1981<sup>36</sup>; Gehu e Gehu-Franck, 1981<sup>37</sup>).

Algunhas especies das marismas son máis sensibles ca outras ó petróleo e ós seus derivados. A mestura de hidrocarburos que chega ás marismas forma, en xeral, unha capa máis o menos grossa que cubre total ou parcialmente sedimentos e plantas. Segundo Levasseur *et al.* (1981<sup>36</sup>) os hemicriptófitos con roseta, provistos dunha cepa grossa, leñosa, vertical ou subvertical e os xeófitos rizomatosos son os máis resistentes, sempre que a contaminación sexa exclusivamente epixea. Non todas as xemas de renovación poden estar afectadas, polo que a capacidade de desenvolver novos brotes mantense durante un tempo gracias ás reservas acumuladas nestes órganos. Pola contra, os tipos caméfito e hemicriptófitos con estolóns son moi sensibles, pois a práctica totalidade das xemas de renovación poden quedar expostas ós contaminantes.

Se a contaminación afecta á parte soterrada, especies provistas de rizomas con amplo parénquima lagoar, como é o caso de *Spartina maritima*, son moi vulnerables xa que hai pouca resistencia á penetración e á difusión dos hidrocarburos nestes rizomas.

En xeral, é difícil establecer unha escala de sensibilidade ós hidrocarburos segundo a organización morfolóxica das especies, pois un carácter favo-

nable nun lugar cunhas determinadas condicións, pode ser desfavorable se éstas cambian.

Por outra banda, moitas das especies das marismas son extremadamente sensibles ó pisoteo asociado ós labores de limpeza. Levasseur *et al.* (1981<sup>36</sup>) consideran que os tipos hemicitofito cespitoso ou estolonífero son os máis resistentes, mentres que algúns xeófitos con rizoma (*Spartina maritima*) ou caméfitos (*Halimione portulacoides*) son moi vulnerables. Un mesmo tipo biolóxico pode presentar sensibilidade diferente fronte a dous factores de agresión tomados de forma independente ou conxuntamente. *Puccinellia maritima* é resistente ó pisoteo pero moi sensible ó petróleo. Nun sitio contaminado e pisoteado a súa resistencia ó pisoteo non só se troca inoperante, senón que amplifica o efecto do petróleo, polo que esta especie case desapareceu nalgúns marismas afectadas pola contaminación do «Amoco Cadiz» (Levasseur *et al.*, 1981<sup>36</sup>).

Gehu e Gehu-Franck (1981<sup>37</sup>) analizaron os efectos da marea negra do «Amoco Cadiz» en marismas de 20 localidades, comparando as situacións previas e posteriores á contaminación. Dos resultados obtidos conclúen que ningunha das 76 especies de fanerógamas, nin das 37 comunidades inventariadas antes de que se producira a marea negra, foi destruída na súa totalidade. Nos sitios máis afectados *Spartina maritima* desapareceu case totalmente. Algunhas especies viron as súas poboacións reducidas a escasos individuos: *Salicornia dolichostachya*, *Salicornia fragilis*, *Salicornia obscura*, *Salicornia europaea*, *Salicornia ramosissima*, *Salicornia disarticulata* e *Suaeda maritima*. Outras perderon do 80 ó 90% dos seus efectivos: *Arthrocnemum perenne*, *Halimione portulacoides*, *Aster tripolium*, *Plantago maritima*, *Glaux maritima*, *Spergularia media*, *Cochlearia anglica*, *Armeria maritima* e *Puccinella maritima*. Entre as especies dos niveis afectados pola marea negra, só tres resistiron ben: *Limonium vulgare*, *Triglochin maritima* e *Juncus maritimus*. Incluso *Triglochin maritima* colonizou sitios nus por perda doutras plantas.

Segundo os mesmos autores, algunhas comunidades de xuncos e gramíneas dos niveis máis elevados das marismas apenas se viron afectadas pola marea negra, pola contra, a miúdo foron vítimas de labores relacionadas coa limpeza, en particular polo empedrado de camiños a través das marismas e polo recheo dos fondos de enseadas. Debido ós citados traballos desapareceran de Îlle Grande comunidades de *Cochleario-Frankenietum* e *Junco-caricetum extensae*.

Outras comunidades vexetais de elevado interese ecolóxico que tamén se ven afectadas polas mareas negras son as que se desenvolven nas praias, dunas e cantís. O impacto directo nas praias vai depender do grosor da area,

que repercute na capacidade de penetración da capa contaminante no substrato e do grao de exposición ás ondas. Nos cantís, as plantas que viven nos niveis inferiores, ós que chegan salpicaduras das ondas ou que quedan cubertos polo mar cando hai mareas vivas ou temporais, son as que van a sufrir unha exposición directa ó contaminante, como é o caso de *Crithmum maritimum*, *Armeria maritima*, *Armeria pubigera*, etc.

En xeral, nas praias e dunas os peores impactos sobre a flora e vexetación son consecuencia dos labores de limpeza que ás veces revisten elevada gravidade debido á existencia de especies endémicas, raras e exclusivas destes hábitats, representadas normalmente por poboacións de poucos individuos que poden chegar a desaparecer. Estes efectos indirectos varían moito en función do estado de conservación destes ambientes con anterioridade á marea negra e do impacto que sufran como consecuencia das actuacións de limpeza.

En Galicia dáse a fatal coincidencia de que a gran maioría de lugares de interese comunitario (LIC) do litoral galego que forman parte da rede *Natura 2000* coinciden coas áreas máis afectadas polo impacto directo do vertido do «Prestige» ou polos labores de limpeza. Neste lugares pódese observar como algunhas das especies protexidas segundo normativas españolas e europeas (*Rumex rupestris*, *Omphalodes littoralis* subsp. *gallaecica*, etc.), non se salvan deste desastre.

Gran parte dos danos producidos son consecuencia da carencia de coñecementos sobre o medio natural das persoas responsables da programación e dirección nos labores de limpeza, que propiciaron a apertura indiscriminada de novos camiños de acceso para persoas e maquinaria pesada, levantamento de campamentos sobre comunidades de dunas declaradas de interese comunitario, utilización de maquinaria pesada na limpeza de praias, destrución de dunas para facer barreiras, colocación de balsas e contedores sobre os frontes de dunas, abandono de material de limpeza, etc.

Nun futuro próximo poderán coñecerse as consecuencias dos impactos directos e indirectos da marea negra do «Prestige», gracias ós estudos que están realizando diferentes investigadores das tres universidades galegas e varias asociacións ecoloxistas.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- <sup>14</sup>Bokn T. Effects of diesel oil and subsequent recovery of comercial benthic algae. *Hydrobiologia* 151/152: 277-84. 1987
- <sup>28</sup>BONEY A.D. Toxicity studies with an oil-spill emulsifier and the green alga *Prasinocladus marinus*. *J. Mar. Biol. Assoc. U.K.* 50: 461-73.1970

- <sup>9</sup>CLENDENNING K.A. e NOTRH W.J. Effects of wastes on the giant kelp, *Macrocystis pyrifera*. Proc. Int. Conf. Waste Disposal Mar. Environ. 1: 82-91.1960
- <sup>33</sup>CULLINAN J.P.; Mac CARTHY P. e FLECHTER A. The effect of oil pollution in Bantry Bay. Mar. Poll. Bull. 6(77): 173-76. 1975
- <sup>13</sup>DAVAVIN I.A.; MIRONOV O.G e TSIMBAL I.M. Influence of oil on nucleic acids of algae. Marine Pollut. Bull. 6: 13-15.1975
- <sup>3</sup>de la CRUZ A.A.; HACKNEY C.T. e RAJANNA B. Some effects of crude oil on a *Juncus* tidal marsh. Journal of the Elisha Mitchell Scientific Society 97: 14-28. 1981
- <sup>19</sup>DERENBACH J.B. e GERECK M.V. Interference of petroleum hydrocarbons with the sex pheromone reaction of *Fucus vesiculosus*. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 44:61-65. 1980
- <sup>22</sup>FLOCH J-Ye DIUOURIS M. Impact du pétrole de l'AMOCO CADIZ sur les algues de Portsall: suivi écologique dans une anse très polluée. In «Amoco Cadiz. Conséquences d'une pollution accidentelle par les hydrocarbures.» Ed. Centre National por l'exploitation des océans. Paris. 381-92. 1981
- <sup>27</sup>FOSTER M.S.; TARPLEY J.A. e DEARN S.L. To clean or not to clean: the rationale, methods and consequences of removing oil from temperate shore. Northwest Environ. J. 6:105-20. 1990
- <sup>21</sup>FREEDMAN A. Environmental Ecology. FL. Academis Press. Orlando. 1989
- <sup>37</sup>GEHU J-M e GEHU-FRANCK J. Evolution des prés-salés nord-armoricains sous l'impact de la marée noire . In «Amoco Cadiz. Conséquences d'une pollution accidentelle par les hydrocarbures.» Ed. Centre National por l'exploitation des océans. Paris. 429-442. 1981
- <sup>20</sup>GLEMAREC M. Impact écologique dans le domaine intertidal. Note de synthèse. In «Amoco Cadiz. Conséquences d'une pollution accidentelle par les hydrocarbures.» Ed. Centre National por l'exploitation des océans. Paris.293-301. 1981
- <sup>1</sup>GUNDLACH E. e HAYES M. Vulnerability of coastal environments to oil spill impacts. Mar. Technol. Soc. J. 12:18-27. 1978
- <sup>12</sup>HOPKIN R. e KAIN J.M. The effects of some pollutants on the survival, growth and respiration of *Laminaria hyperborea*. Estu. Cstl. Mar. Sci. 7:531-53. 1978
- <sup>26</sup>HOUGHTON J.P.; LEES D.C.; DRISKELL W.B. e MEARNs A.J. Impacts of the Exxon Valdez spill and subsequent cleanup on intertidal biota- 1

- year later. Proceedings of the 1991 Oil Spill Conference. San Diego. California . 457-475. 1991
- <sup>4</sup>IPIECA. Directrices sobre las consecuencias biológicas de la contaminación por hidrocarburos. Repertorio de informes IPIECA. Volumen Uno.1991
- <sup>23</sup>KAAS R. Evolution des peuplements algaux exploitables depuis le naufrage de l'AMOCO CADIZ. In «Amoco Cadiz. Conséquences d'une pollution accidentelle par les hydrocarbures.» Ed. Centre National por l'exploitation des océans. Paris.687-702. 1981
- <sup>34</sup>LALLEMANT R. e VAN HALUWYN. Effects des hydrocarbures sur les peuplements lichéniques marins et phénomènes de recolonisation. In «Amoco Cadiz. Conséquences d'une pollution accidentelle par les hydrocarbures.» Ed. Centre National por l'exploitation des océans. Paris. 405-414. 1981
- <sup>24</sup>LE HIR M.e HILY C. First observations in a high rocky-shore community after the Erika oil spill (December 1999, Brittany, France). Mar. Pollut. Bull. 44: 1243-1252. 2002
- <sup>36</sup>LEVASSEUR J.; DURAND M-A e JORY M-L Aspects biomorphologiques et floristiques de la reconstitution d'un couvert végétal phanérogame doublement altéré par les hydrocarbures et les opérations subséquentes de nettoyage (cas particulier des marais maritimes de l'Île Grande, Côtes-du-Nord. In «Amoco Cadiz. Conséquences d'une pollution accidentelle par les hydrocarbures.» Ed. Centre National por l'exploitation des océans. Paris 455-474. 1981
- <sup>5</sup>LOBBAN S.e HARRISON P.L. Pollution. Oil. In «Seaweed ecology and physiology». Cambridge University Press.267-273. 1994
- <sup>29</sup>NELSON-SMITH A. The effects of oil pollution and emulsifier cleansing on marine life in south-west Britain. J. Appl. Ecol. 5: 97-107. 1968 a
- <sup>30</sup>NELSON-SMITH A. Biological consequences of oil pollution and shore cleansing. Field Studies 2 (suppl.): 73-80. 1968 b
- <sup>7</sup>NELSON-SMITH A. Oil Pollution and Marine Ecology. Elek Science Press. London. 1972
- <sup>8</sup>NORTH W.J.; NEUSHUL M. e CLEMDEMING K.A. Successive biological change observed in a marine cove exposed to a large spillage of mineral oil. Symposium sur les Pollutions Marines par les Microorganismes et les Produits Petroliers. Monaco. 335-54. 1965
- <sup>60</sup>O'BRIEN P.Y.e DIXON P.S. The effects of oils and oil components on algae: a review. Br. Phycol. J. 11: 115-42. 1976

- <sup>25</sup>PÉREZ-CIRERA J.L.; OTERO J. E MIER E. Las macroalgas marinas de Galicia y el vertido del Prestige. Manuscrito inéd. 2003
- <sup>31</sup>RANWELL D.S. Lichen mortality due to Torrey Canyon oil and decontamination measures. The Lichenologist 4: 55-56. 1968
- <sup>2</sup>SCHOLZ D.; MICHEL J.; SHIGENAKA G. e HOFF R. Biological resources. In “An introduction to coastal habitats and biological resources for oil spill response” Perort No HMRAD 92-4. NOAA. 1992
- <sup>18</sup>SCHRAMM W. The effects of oil pollution on gas exchange in *Porphyra umbilicaris* when exposed to air. Proc. Int. Seaweed Symp. 7: 309-15. 1972
- <sup>10</sup>SHIELDS W.E.; GOERING J.J. e HOOD D.W. Crude oil phytotoxicity studies. In “ Environmental studies of Port Valdez. Institute of Marine Science. Univ. Alaska. Occasional Publication no . 3. 413-46. 1973
- <sup>32</sup>SMITH J.E. (Ed.) Torrey Canyon pollution and marine life. 196 p. Cambridge Univ. Press. 1968
- <sup>11</sup>STEELE R.L. e HANISAK M.D. Sensitivity of some brown algal reproductive stages to oil pollution. Proc. Int. Seaweed Symp. 9: 1981-91. 1979
- <sup>15</sup>TOKUDA H. Acute toxicity of nonpersistent oils on *Porphyra* and *Monostroma*. Hydrobiologia 151/152: 425-9. 1987
- <sup>16</sup>VANDERMEULEN J.H. e AHERN T.P. Effects of petroleum hydrocarbons on algal physiology: review and progress report . In “Effects of pollutants on Aquatic Organisms”. Cambridge Univ. Press. 107-25. 1976
- <sup>17</sup>VANDERMEULEN J.H. Toxicity and sublethal effects of petroleum hydrocarbons in freshwater biota. In “Oil in freshwater: Chemistry, Biology, Countermeasure Technology”. Pergamon Press. NY. 267-303. 1987
- <sup>35</sup>ZIEMAN J.C.; ORTH R.; PHILLIPS R.C.; THAYER G. e THORHAUG A. The effects of oil on seagrass ecosystems. In “Restoration of Habitats Impacted by Oil Spills. Butterworth Publishers. Boston. 37-64. 1984

### Agradecementos

Quero expresar o meu fondo agradecemento a Anxela Bugallo pola súa axuda na versión galega deste traballo.