

## FLORACIONES ALGALES NOCIVAS EN EL MAR MEDITERRÁNEO



*Marea Roja (fuente: Microbial life)*

## INDICE

Resumen	3
1. Floraciones algales nocivas, un fenómeno en expansión	4
2. El mar mediterráneo y sus características especiales	7
3. Los microorganismos responsables de las floraciones algales nocivas	11
3.1. Floraciones algales nocivas producidas por las cianobacterias	12
3.2. Floraciones algales nocivas producidas por las diatomeas	14
3.3. Los dinoflagelados y las floraciones nocivas que producen	15
4. Impactos de las proliferaciones algales nocivas	16
4.1. Impacto en la salud humana	17
4.2. Impacto en la pesquería y el sector acuícola	21
4.3. Impacto en el sector turístico y otros sectores	22
5. Factores que inducen a las floraciones algales nocivas	24
5.1. Cambio climático	25
5.1.1. Gases de efecto invernadero	28
5.2. Enriquecimiento de los ecosistemas marinos por nutrientes	30
5.2.1. Afloramiento de nutrientes (upwelling)	31
5.2.2. Eutrofización cultural	31
5.3. Artificialización de la línea de costa	33
5.4. Introducción de especies foráneas y aumento de los vectores de dispersión	34
6. Floraciones algales nocivas en las costas marroquíes del mar Mediterráneo	36
6.1. Región de Tetuán	38
6.2. Región de Nador	40
7. Otras proliferaciones en las costas del Mediterráneo: “bloom” de medusas	48
8. Bibliografía	51

## **RESUMEN**

El presente trabajo surge de la necesidad de trascender un fenómeno de gran importancia, que tiene implicaciones en el sector ambiental, pesquero, Salud humana y turismo. Se trata de las Floraciones algales nocivas (FAN) o "*Harmful Algae Bloom*" en la literatura científica inglesa.

Este informe trata este fenómeno, en las costas Mediterráneas en general, y sus costas marroquíes en especial. La distribución tanto espacial, como temporal, de estos eventos en el mar Mediterráneo está en aumento, por lo que urge la necesidad de dar a conocer este fenómeno.

## **1. FLORACIONES ALGALES NOCIVAS, UN FENÓMENO EN EXPANSIÓN.**

Ciertas microalgas, en determinadas condiciones ambientales, cuando se ven favorecidas respecto a otros microorganismos, crecen desmesuradamente, produciendo proliferaciones esporádicas, llegando incluso, en ocasiones, a cambiar el color de las aguas que las contengan. Son las mencionadas floraciones algales nocivas (FAN).

Las FAN son llamadas también “mareas rojas”, sin embargo no tienen nada que ver con la variación del nivel del mar, ni son siempre de color rojo. El color de las FAN puede ser rojo, verde, marrón o incluso sin color. El color y la intensidad que alcanzan dependen de la especie que prolifera y de su concentración. En el caso de proliferaciones que no producen un cambio de color, sólo el muestreo sistemático de las aguas a lo largo del año puede detectarlos. Las FAN pueden ser esporádicas o aparecer de forma recurrente año tras año en el mismo lugar. Los términos más comunes para referirse a este fenómeno son muchos, citando algunos como por ejemplo, proliferaciones algales nocivas; Afloramientos microalgales nocivos; Aguas rojas; Floraciones algales dañinas; Floraciones tóxicas; Hemotalasia; Mareas rojas...etc. Cada uno de los términos refleja alguna propiedad del fenómeno

No se trata de un fenómeno nuevo. Se ha sostenido que probablemente el registro más antiguo de los efectos nocivos de microalgas aparece en el Antiguo Testamento, donde las aguas de Egipto se transformaron en "sangre" produciendo la muerte masiva de peces. A lo largo de toda la historia se han registrado brotes de algas tóxicas y no tóxicas en el mar, estos se han incrementado durante las últimas décadas (Anderson, 1990; Smayda, 1989a; Hallegraeff, 1992).

En diversas áreas tales como el Mar Báltico, Mar del Norte, Mar Adriático, costas de Japón y Golfo de México, estos florecimientos se han convertido en un fenómeno constante. Las FAN están consideradas en la actualidad como uno de los mayores riesgos a los que tienen que hacer frente las zonas costeras a nivel mundial.

La UNESCO ha manifestado su preocupación a través de la creación de programa GEOHAB (Global Ecology and Oceanography of Harmful Algal Blooms).

Este trabajo se centrará, especialmente, en las FAN producidas por los dinoflagelados ya que son el grupo de microalgas que causa más problemas, dando

lugar a proliferaciones frecuentes y persistentes con impactos ambientales, sociales, económicos y sanitarios. Además, los dinoflagelados representan la tercera cuarta parte de todas las especies que forman las floraciones algales nocivas y se va hacer hincapié sobre el mar Mediterráneo en general, y en sus costas marroquíes en especial.

La existencia, de estos episodios, en el mar Mediterráneo era muy rara, sin embargo, se constató un aumento y expansión muy notables en las últimas décadas. Es un fenómeno emergente en el mar Mediterráneo, y por tanto todos los conocimientos, al respecto, deben ser transmitidos a la sociedad civil y a los responsables para que haya mejores actuaciones y respuestas hacia el fenómeno.

## **2. EL MAR MEDITERRANEO Y SUS CARACTERÍSTICAS ESPECIALES**

El mar Mediterráneo, como indica su nombre, es un mar encajado entre tierras. Los países ribereños son de tres continentes diferentes, Europa, Asia y África. Cartográficamente se encuentra situado casi en su totalidad en el rectángulo que forman los meridianos 5° W y 35° E y los paralelos 30° N y 45 ° N.

El mar Mediterráneo, con una superficie aproximada de 2,5 millones de kilómetros cuadrados, es el mar interior más grande del mundo. Tiene 3860 kilómetros de longitud y 3,7 millones de kilómetros cúbicos de volumen, con una profundidad media de 1450 metros. Se caracteriza, por ser un mar casi cerrado, donde no existen grandes mareas, el oleaje es relativamente reducido, la producción biológica es escasa, sin embargo con una elevada biodiversidad; Cuenta con el 7% de las especies marinas existentes, sobre una superficie inferior al 0.8% de la superficie total de los océanos.

Las aportaciones de agua de los grandes océanos son mínimas en comparación con su volumen; se estima el tiempo de renovación de sus aguas en un valor que ronda 100 años; se comunica de forma natural con el océano atlántico a través del estrecho de Gibraltar, con el Mar Negro a través de los estrechos del Bósforo y de los Dardanelos y, de forma artificial, con el océano Índico por el mar Rojo a través del Canal de Suez. Esta última conexión que se data de 1869, ha colaborado en que el mar Mediterráneo lo habitan miles de nuevas especies, que suponen un peligro sobre la supervivencia de muchas especies autóctonas.

Los principales ríos que desembocan en el mar Mediterráneo son el Nilo, Ródano, Ebro y Po. La aportación del Nilo es de 89 km<sup>3</sup>/año a la altura de la presa de Asuán, pero disminuye a menos de 5 km<sup>3</sup>/año al llegar al mar Mediterráneo; por lo tanto puede ser considerado como un río menor en términos de descarga en el mar. La aportación del río Ródano es de 54 km<sup>3</sup>/año, la de Ebro de 46 km<sup>3</sup>/año y la del río Po es de 17 km<sup>3</sup>/año.

Las cuencas fluviales son generalmente pequeñas, siendo las principales la del Ródano, Ebro y Po, con una extensión de 96000, 84000 y 69000 km<sup>2</sup> respectivamente. El mar Mediterráneo se caracteriza por la gran evaporación que experimenta. Puede definirse como una «cuenca de concentración», porque la evaporación excede a la suma de precipitaciones y escorrentía fluvial, resultando un déficit de agua dulce estimado

entre 2200 y 2500 km<sup>3</sup>/año. Este déficit es compensado principalmente por la entrada de agua desde el Atlántico por el estrecho de Gibraltar y del mar Rojo por el estrecho de los Dardanelos.

Por otro lado, el mar Mediterráneo soporta una gran población ribereña, además de la presión que ejercen los turistas en periodos estivales; lo que supone un desgaste importante al entorno y a los ecosistemas marinos de este mar. Conviene señalar que un elevado número de barcos (cerca de 60000), atraviesan el mar mediterráneo; lo que supone una considerable contaminación por hidrocarburos y por otros compuestos. Se considera que más del 80% de la contaminación que afecta el mar Mediterráneo es de origen continental; debido a las siguientes consideraciones (Eurostat et UNEP/Plan Blue, 2005):

- Más de la mitad de las aglomeraciones de más 100000 habitantes no tienen instalaciones de tratamiento de aguas residuales
- 60 % de las aguas residuales producidas por las aglomeraciones de más 100000 habitantes son evacuadas al mar sin tratamiento alguno.
- Más del 80 % de las descargas del sur y el este del Mediterráneo no son controlados.

La salinidad de mar Mediterráneo es superior al del Atlántico, lo que condiciona la circulación de las corrientes marinas. La entrada de agua atlántica, al ser menos densa, lo hace por la superficie y la salida de agua mediterránea, más salada y por tanto más densa, lo hace bajo la capa superficial de la corriente atlántica.

El agua atlántica, entrante al mar mediterráneo, con una salinidad del 36,15 ‰ y una temperatura que en invierno no desciende de 12 grados centígrados, forma la corriente superficial que entra por el estrecho y cuyo caudal oscila entre 63 y 146 Kilómetros cúbicos por día. El agua atlántica irá transformándose en agua mediterránea en su discurrir dentro de la cuenca.

El agua mediterránea, saliente hacia el atlántico en forma de corriente profunda, se caracteriza por su temperatura de 13 Centígrados, y su salinidad, 38,4 ‰ y cuyo caudal oscila entre 60 y 138 Kilómetros cúbicos por día.

El Mar Mediterráneo funciona como un estuario negativo o inverso. Los estuarios generalmente precipitan agua dulce o poco salada por la superficie hacia el océano y reciben del fondo agua salada. El mar Mediterráneo funciona justamente al revés.

Las aguas profundas son más ricas en nutrientes (sobre todo los compuestos del nitrógeno y del fósforo), al ser en ellas donde las bacterias provocan la mayor parte de la descomposición de la materia orgánica, lo que significa que el mar Mediterráneo exporta nutrientes al océano Atlántico. Este último hecho acentúa el carácter oligotrófico (pobre en nutrientes) del mar Mediterráneo, y su aguas cristalinas y de color azul es indicación de su pobreza en nutrientes.

Otra de sus características, es que la relación nitrógeno: fósforo es de 20 a 26: 1, bastante distante de la habitual observada en el océano Atlántico, que es de 16: 1. El mar Mediterráneo, es peculiar en este aspecto, donde el fósforo es el nutriente limitante.

**3. LOS MICROORGANISMOS RESPONSABLES DE LAS FLORACIONES  
ALGALES NOCIVAS**

El término fitoplancton, se utiliza para definir un amplio grupo de plantas y algas planctónicas que viven en aguas superficiales, donde existe suficiente luz para el desarrollo de la fotosíntesis.

El fitoplancton puede ser dividido en varios grupos taxonómicos:

- Diatomeas
- Dinoflagelados
- Coccolitoforidos
- Fitoflagelados
- Silicoflagelados
- Bacterias
- Cianobacterias.

Entre los grupos que forman las floraciones algales nocivas se destacan, principalmente, los dinoflagelados, las diatomeas y las cianobacterias.

### **3.1. FLORACIONES ALGALES NOCIVAS PRODUCIDAS POR LAS CIANOBACTERIAS**

Son muchas las especies de cianobacterias que desarrollan floraciones en ambientes de agua dulce, salobre o marina. Destacan los géneros de *Microcystis*, *Anabaena*, *Aphanizomenon*, *Planktothrix*, *Cylindrospermopsis* y *Nodularia*, por su amplia distribución y por los efectos sobre otros organismos debido a la presencia de toxinas, denominadas genéricamente cianotoxinas.

Las floraciones de las cianobacterias son más abundantes en los ecosistemas acuáticos continentales que en estuarios y ecosistemas costeros (Seller, 1997 Wetzell, 2001.; Smith, 2003). Y Se estima que más del 50 % de las floraciones de cianobacterias de aguas continentales, registradas o no a nivel mundial, son tóxicas (Hallegraeff, 1992).

En los ecosistemas acuáticos continentales, el fósforo es el principal nutriente limitante del crecimiento. Cuando hay aportes adicionales de este elemento, sobre todo por contaminación, disminuye la proporción nitrógeno: fósforo, produciendo un crecimiento acelerado de algas y plantas que conllevan posteriormente a un agotamiento de nitrógeno que se convierte en el nutriente limitante. En estas condiciones, proliferan las cianobacterias que son capaces de fijar el nitrógeno atmosférico. Sin embargo, en ecosistemas costeros, el principal nutriente limitante es el nitrógeno, y cuando hay una entrada significativa de nitrógeno, la proporción nitrógeno: fósforo aumenta y da lugar a que sea el fósforo el nutriente limitante.

Los factores que favorecen el desarrollo de floraciones de cianobacterias pueden resumirse en los siguientes:

1. La eutrofización de los sistemas acuáticos debido al incremento de los niveles de nutrientes, principalmente nitrógeno y fósforo (N y P) por:

- Los aportes puntuales de aguas residuales domésticas o industriales no tratadas, con alto contenido de N y P, vertidas directa o indirectamente a los sistemas acuáticos.
- Los aportes difusos de aguas provenientes del lavado de suelos de áreas cultivadas y fertilizadas, de suelos deforestados o de campos con ganadería.

2. El alto tiempo de permanencia del agua en el sistema acuático, que favorece el predominio de las cianobacterias en la comunidad fitoplanctónica.

3. La aridez de las regiones próximas cuyos suelos están sin vegetación, aportando minerales al agua además de provocar mayor turbidez, interfiriendo en la

actividad fotosintética de otras algas que mueren y sedimentan, dejando paso a las cianobacterias.

4. Incremento de la temperatura.
5. Incremento de la intensidad luminosa.
6. La baja turbulencia del agua.

### **3.2. FLORACIONES ALGALES NOCIVAS PRODUCIDAS POR LAS DIATOMEAS**

Las proliferaciones de las diatomeas, forman el grueso de las proliferaciones algales primaverales, de los mares templados.

Estas microalgas se caracterizan entre otras cosas, por poseer caparazón silíceo que no sólo es muy resistente, sino que en muchas ocasiones está provisto de prolongaciones (espinas o espículas) que pueden clavarse o desgarrar los tejidos blandos, de los otros seres marinos, con los que entran en contacto; llegando de esta forma a provocar mortandades de diversos peces. Está documentado de que las diatomeas *Chaetoceros convolutus* y *C. concavicornis* presentan unas prolongaciones que están recubiertas de finas espículas que han producido daños en las branquias de diversos peces (Horner et al. 1990).

La especies de diatomeas que suelen formar floraciones algales nocivas son: *Amphora coffeaeformis*, *Nitzschia navis-varingica*, *Pseudo-nitzschia australis*, *Pseudo-nitzschia calliantha*, *Pseudo-nitzschia delicatissima*, *Pseudo-nitzschia fraudulenta*, *Pseudo-nitzschia galaxiae*, *Pseudo-nitzschia multiseriata*, *Pseudo-nitzschia multistriata*, *Pseudo-nitzschia pungens*, *Pseudo-nitzschia seriata*, *Pseudo-nitzschia turgidula*.

Las diatomeas, al contrario de los dinoflagelados y las cianobacterias, se ven favorecidas por la turbulencia, siempre que exista alguna barrera, como el fondo o una picnoclina, que impida que una gran parte de sus poblaciones se pierdan en capas no iluminadas (Harris 1986).

### **3.3. LOS DINOFLAGELADOS Y LAS FLORACIONES NOCIVAS QUE PRODUCEN**

Se considera a los dinoflagelados como un grupo exitoso de microorganismos, adaptados a hábitats pelágicos y bentónicos, con muchas especie cosmopolitas identificables en todo los mares. Los dinoflagelados poseen dos flagelos distintos, un flagelo transversal y otro longitudinal. El batido coordinado de estos flagelados les otorga un movimiento en espiral característico. Los flagelos permiten a los dinoflagelados tomar ventaja a la hora de consumir los nutrientes y obtener la luz óptima a los distintos niveles de la columna de agua. Los dinoflagelados presentan, los siguientes modos de nutrición:

- La autotrofia, es decir produciendo su propio alimento.
- La heterotrofia, es decir aprovechamiento del alimento generado por los autótrofos, a través de la incorporación de materia orgánica particulada o disuelta llegando incluso a la depredación sobre bacterias.
- La mesotrofia. Combinando los dos modos anteriores.

Los dinoflagelados poseen otra ventaja respecto a otros microorganismos; y es que pueden permanecer en el sedimento del fondo del mar en forma de quistes. Se sabe que el hecho de que la proliferación ocurra cada año en el mismo sitio se debe a que produce quistes de resistencia que se acumulan en el sedimento. Estos quistes soportan situaciones muy extremas como la anoxia. Así pueden estar durante años si no son perturbados por fuerzas físicas o naturales. La fase bentónica, de los dinoflagelados, posibilita la recurrencia anual de las proliferaciones y protege a los dinoflagelados de las condiciones adversas. Cuando las condiciones son las idóneas, los quistes germinan y al abrirse emerge una célula nadadora, que se reproduce por división. Si las condiciones se mantienen óptimas, las células continuarán dividiéndose hasta formar un “bloom”.

En cuanto los nutrientes se agotan, se interrumpe el crecimiento y se forman los gametos o células reproductoras. Dos gametos se unen para formar una célula que se desarrollará en un cigoto que, después de recubrirse de una capa protectora se convertirá de nuevo en un quiste. Éste caerá hacia el fondo del mar y será capaz de germinar al año siguiente.

#### **4. IMPACTOS DE LAS PROLIFERACIONES ALGALES NOCIVAS**

Los efectos nocivos pueden tener tanto un sentido ecológico: daños para el ecosistema marino, como un sentido antropogénico: sobre la salud pública, pesquerías, turismo, etc.

La nocividad que producen Las FAN, son por los siguientes efectos:

- Intoxicación ya que ciertos microorganismos responsables de las FAN producen toxinas.
- Daño físico como cuando se obstruye una función vital, como podría ser el caso de la respiración por obstrucción de las agallas.
- Agotamiento de oxígeno o de nutrientes.
- Reducción de irradiación.

#### **4.1. IMPACTO EN LA SALUD HUMANA**

Los dinoflagelados están adquiriendo en los últimos años una extraordinaria relevancia mundial por ser especies productoras de biotoxinas de acción potente (García Camacho y col., 2007) y ser las principales responsables de intoxicaciones por consumo de mariscos y pescado contaminado. Anualmente se registran más de 60000 intoxicaciones en el mundo.

Los transvectores de las toxinas son, principalmente los moluscos: almejas, vieiras, mejillones y ostras, cuyo alimento básico son las microalgas. Al ingerir las microalgas que generan las toxinas, incorporan estas, que permanece principalmente en su tracto digestivo sin que les afecte.

Las implicaciones que pueden producirse al consumir productos contaminados por las toxinas de los dinoflagelados, son las siguientes:

- Intoxicación paralizante (PSP).
- Intoxicación diarreica (DSP).
- Intoxicación amnésica (ASP).
- Intoxicación neurotóxica (NSP).
- Intoxicación por ciguatera (CFP).

Todas las toxinas son de naturaleza no proteica y extremadamente estables. Así, el cocinado, ahumado, secado o salado no las destruye, y tampoco puede determinarse por el aspecto del producto si el alimento es o no tóxico.

## **PSP**

Las toxinas PSP constituyen un peligro potencial, tanto para el ser humano como para los animales. Las intoxicaciones por PSP son producidas por Saxitoxina y otros productos derivados.

Los efectos de las toxinas PSP son debilidad muscular, cefaleas, adormecimientos de lengua, adormecimientos de labios y extremidades, pérdida de la coordinación motora y del equilibrio. En los casos extremos parálisis del sistema respiratorio y muerte. Los efectos suelen ocurrir entre dos y doce horas después de la ingestión. Recientemente se ha demostrado que la toxina PSP también puede estar asociada a los cangrejos y a las langostas.

Las toxinas que conforman la PSP están formadas por un núcleo tetrahidropurínico, siendo todas ellas análogas a la saxitoxina que es la más tóxica, y es la primera toxina PSP caracterizada químicamente. Actualmente, se han aislado e identificado más de 26 derivados de la saxitoxina (Anderson et al., 2001; Cortés Altamirano, 1998).

Los dinoflagelados del género *Alexandrium* de zonas de clima tropical o templado son los principales responsables de la producción de estas toxinas. Los mariscos que se alimentan de estos dinoflagelados acumulan las toxinas, sin sufrir los efectos nocivos de las toxinas.

Este grupo de toxinas se distribuye ampliamente en el Pacífico sudamericano y en el Atlántico (Suárez et al, 1999; Sar et al, 2002). También están presentes en el mar Mediterráneo. Quizás los primeros episodios de intoxicación registrados en España fueron en el año 1976; hubo 120 personas intoxicadas, sin casos fatales, por el consumo de mejillones contaminados por PSP. Los afectados no fueron solamente consumidores españoles, sino también de Alemania, Francia, Suiza y Italia (por mejillones exportados a estos países). Desde el mencionado año, la región de las rías de Galicia en el noroeste de la costa atlántica española, donde el cultivo de mejillones es una industria importante, se ha visto seriamente afectada por incidentes de PSP (IPC., 1984).

En Marruecos, fue entre octubre y noviembre de 1994, cuando se registraron por la primera vez en su historia, víctimas mortales por consumo de mejillones contaminados por PSP (Tahri, 1998).

Su distribución mundial se ha incrementado notablemente en las últimas décadas y cada año se documentan cerca de 200 casos de intoxicaciones por PSP con un 15 % de mortalidad.

Las toxinas PSP se encuentran en algunos géneros de dinoflagelados y en una especie de cianobacteria. Las especies del género *Alexandrium* identificadas como contaminantes de los mariscos son: *Alexandrium tamarensis*, *A. minutum*, *A. catenella*, *A. fraterculus*, *A. fundyense* y *A. cohorticula*. Otras especies de dinoflagelados, que también se identificaron como fuente de saxotoxina son *Pyrodinium bahamense* y *Gymnodinium catenatum* (Mons et al., 1998).

## DSP

Las intoxicaciones por DSP son producidas por el ácido ocadaico y otros derivados. Estas toxinas pueden dividirse en cuatro grupos: el grupo del ácido ocadaico y las dinofisistoxinas, el de las pectenotoxinas, el de las yesotoxinas y el de los azaspirácidos (la inclusión de este último grupo en los DSP está muy discutida, ya que hay quienes lo considera como un grupo de toxinas independiente, Los AZP).

Los efectos de ingerir alimentos contaminados por las toxinas del tipo DSP son náuseas, vómitos, dolores abdominales, cefaleas y diarreas agudas intensas. No dan lugar a síntomas neurológicos y no se han registrados casos mortales. La intoxicación por DSP se describió por primera vez en Japón en el año 1978. En España, en 1981 se declararon 5.000 casos asociados a esta intoxicación. Actualmente, se considera que presenta una amplia distribución geográfica, describiéndose casos en Japón, Europa, Sudamérica y Nueva Zelanda.

La contaminación por DSP, causaba frecuentes cierres del caladero del golfo de Cádiz. Actualmente y desde finales del 2007, Huelva cuenta con el primer Centro Andaluz de depuración de moluscos que consigue eliminar la toxina DSP de coquinas y chirlas.

Los dinoflagelados responsables son *Protoceratium reticulatum*, *Gymnodinium catenatum*, *Dinophysis acuminata*, *D. acuta*, *D. caudata*, *D. mitra*, *D. norvegica*, *D. rotundata*, *D. tripos*, *D. sacculum*, *Prorocentrum lima*, *P. delicatissima*.

## ASP

La intoxicación amnésica (ASP), es producida por el ácido domoico. Los efectos de intoxicación por las toxinas de tipo ASP radican en trastornos gastrointestinales y neurológicos y se manifiestan por calambres, diarrea, vómitos, náuseas, dolor abdominal, pérdida del equilibrio, entorpecimiento, debilidad, cefaleas, visión borrosa, confusión, desorientación y pérdida temporal de la memoria; incluso en caso extremos, la muerte del afectado.

Los responsable de este tipo de toxinas son *Pseudo nitzschia multiseriis*, *P. delicatissima*, *P. australis*, *P. seriata*, *Amphora coffaeiformis*, *P.calliantha*, *P. galaxiae*, *P. multistriata*, *P. turgidula*, *Nitzschia navis-varingica*

## **NSP**

La intoxicación neurotóxica (NSP), es producida por Brevetoxina. Los efectos de la intoxicación por NSP son unas alteraciones neurológicas leves, de corta duración. No se ha registrado ningún caso mortal.

Los responsable de este tipo de toxinas son *Gymnodinium breve*, *Karenia brevis*, *K. papilionacea*, *K. selliformis*, *K. bicuneiformis*, *K. concordia*, *Procentrum borbonicum*

## **CFP**

La intoxicación es producida por las toxinas de la ciguatera. La ingestión de peces contaminados produce síntomas gastrointestinales y neurológicos (alteración en el sistema termorregulador), que ocasionalmente pueden ser graves. Se producen varios miles de casos de intoxicación al año, muchos de ellos entre pescadores deportivos que consumen sus capturas.

La CFP es causada por el consumo de pescados marinos carnívoros tropicales y subtropicales que han acumulado la toxina de la ciguatera a lo largo de la cadena alimentaría. La intoxicación por CFP está registrada desde mediados del siglo XVI en el Caribe y desde principios del siglo XVII en Oceanía. Se han descrito que más de 400 especies de pescados pueden causar ciguatera. En la Unión Europea está prohibida la comercialización de las especies de pescado que puedan ser transportadores de este tipo de toxinas (CFP).

## **4.2. IMPACTO EN LA PESQUERÍA Y EL SECTOR ACUÍCOLA**

Las FAN son responsables de importantes pérdidas en el sector acuícola, pesquero y marino mundial (Guerrini y col., 2007; Ciminiello, P. 2003; Alonso-Rodríguez y Páez-Osuna, 2003).

En los estados Unidos, se estiman las pérdidas anuales en el sector de los cultivos marinos, en 49 millones de dólares (Anderson et al., 2001). En China, en 1990, la muerte de crustáceos de cultivo (*Penaeus orientalis*) por el dinoflagelado *Noctiluca Scintillans*, causó una pérdida de 100 millones de dólares. En Sudáfrica, en 1997, el dinoflagelado *Ceratium fusus*, produjo la muerte de 2000 toneladas de langosta de roca (*Jasus lalandii*) con una pérdida de 50 millones de dólares.

El impacto socioeconómico de los HABs (Harmful Algal Blooms) es difícil de estimar ya que la información recogida en el pasado es escasa y poco precisa.

Se apunta a España, entre otros países de la Unión Europea, como zona altamente sensible a los efectos de las toxinas de dinoflagelados en la industria extractiva marítima, ya que desde los años 80 han aumentado los días de prohibición de extracción, llegando en algunas zonas y años a superar 200 días/año de prohibición. En Europa, el mayor productor de alimentos procedentes del mar es Dinamarca (24%) seguido de España (19%). Y concretamente en moluscos, el primer productor es España (29%). Y si solo se considera la producción de mejillones (el producto más afectado por las floraciones algales nocivas), España sigue siendo el primer productor europeo (34%).

En el mar Mediterráneo, entre 1980 y 1990, proliferaciones recurrentes del dinoflagelado *Lingulodinium polyedrum* causó la muerte de peces demersales y moluscos en Croacia (mar Adriático) (Marasoviæ, 1990). En Túnez, durante 1994, una proliferación de los dinoflagelados *Alexandrium minutum* y de *Grodinium aureolum* causó la muerte de más de 700 toneladas de lubinas y doradas en cultivo (Romdhane et al. 1998).

### **4.3. IMPACTO EN EL SECTOR TURÍSTICO Y OTROS SECTORES**

Las floraciones algales nocivas, tiene también un impacto negativo sobre el turismo. En ocasiones, las playas y las aguas recreativas sufren las consecuencias de la aparición de las FAN. Las decoloraciones recurrentes que suceden en determinadas playas mediterráneas muy frecuentadas, tienen implicaciones sociales y económicas muy relevantes. Debido a sus características de la circulación y la escasa profundidad,

las costas del norte y oeste del mar Adriático, se ven frecuentemente afectadas por las FAN inducido por la eutrofización (Vukadin et al., 1996).

A los animales marinos también les afectan las proliferaciones algales nocivas, ya por agotamiento de oxígeno, o por el daño físico, que les pueden provocar (algunas especies de fitoplancton presentan características estructurales que pueden afectar negativamente a diversos organismos marinos. Los principales responsables de este tipo de daño son las diatomeas) o bien por toxicidad. Entre mayo y junio del año 1997, la colonia de la Foca Monje del Mediterráneo (*Monachus monachus*), de cabo Blanco (Mauritania) vio reducida su población de 300 a 110 individuos por mortalidad masiva provocada por dinoflagelados tóxicos que llegaron a las focas a través de los peces con los que se alimentaban.

**5. FACTORES QUE INDUCEN A LA EXPANSIÓN DE LAS FLORACIONES  
ALGALES NOCIVAS**

Para que una proliferación algal tenga lugar, se tienen que producir una combinación de factores físicos, químicos y biológicos; en la que destacan la luz, la temperatura, abundancia de los nutrientes y una estabilidad suficiente de la columna de agua.

Las posibles causas del aumento de las FAN es un tema de debate para muchos, pero está claramente admitido que el efecto antropogénico es uno de los factores que más ha influido en la extensión del problema. Entre otros, el cambio climático y la intensidad de las actividades humanas, que se llevan a cabo en las zonas costeras, han producido importantes modificaciones en la estructura de la línea de costa y un deterioro de la calidad de sus aguas. Los factores, más destacados, que han contribuido al aumento de la frecuencia de aparición de las FAN y de su expansión geográfica, son los siguientes:

- Cambio climático (temperaturas elevadas).
- Enriquecimiento de los entornos acuáticos por nutrientes.
- Artificialización de la línea de costa.
- Introducción de especies foráneas y aumento de sus vectores de dispersión.

En los cuatro factores, la implicación de las actividades humanas es de gran magnitud.

## **5.1. CAMBIO CLIMÁTICO**

Las temperaturas elevadas, es uno de los factores que inducen la aparición de las FAN que se forman; sobre todo, las que se generan a partir de los microorganismos que se desarrollan en los meses cálidos. El actual calentamiento global, que estamos observando, podría ser una potencial causa del aumento de la expansión, espacial y temporal, de las FAN.

El calentamiento global que se está registrando no es ni casual ni es la primera vez que sucede. Ya hubo más de uno, pero es la primera vez que se atribuye al ser humano y a sus actividades.

El panel intergubernamental (IPCC) creado por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), encargado de estudiar y presentar informes sobre este fenómeno (una de las principales actividades del IPCC es hacer una evaluación periódica de los conocimientos sobre el cambio climático) dice, en su cuarto informe emitido en el año 2007, que es muy probable, que las actividades antropogénicas sean las causas principales del cambio climático, a través de las emisiones de los gases de efecto invernadero, que provocan un calentamiento global de nuestro planeta. Este cambio no afecta solamente a áreas locales o regionales, sino que es un cambio global y además, muy rápido. El mismo informe, dice, que muchos de las consecuencias de este calentamiento son ya irreversibles.

Según el cuarto informe del IPCC, once de los últimos doce años (1995-2006) están en el ranking de los doce años más calurosos desde que, se registran instrumentalmente las temperaturas, es decir desde el año 1850, y en los últimos cien años (1906-2005), la temperatura de la Tierra se ha incrementado en 0,74 grados centígrados.

La temperatura oceánica media aumentó hasta profundidades como mínimo de 3000 metros, según el citado informe de la IPCC, lo que puede causar graves consecuencias ya que, los ecosistemas existentes a grandes profundidades, no están adaptados a las alteraciones de temperaturas.

La cuenca Mediterránea será una de las zonas más afectadas por el cambio climático global del planeta por sus características especiales. La disminución de las precipitaciones pluviales, el aumento de la temperatura superficial del mar y su salinidad, el incremento de la pérdida de la biodiversidad y la expansión de la acidificación son algunas de las consecuencias del calentamiento global sobre la cuenca Mediterránea.

Según una investigación realizada por el laboratorio de Geodesia Espacial de la Universidad de Alicante en colaboración con la Agencia Estadounidense del Espacio y la Aeronáutica (NASA), la temperatura superficial del mar Mediterráneo aumentó 0,75° entre 1993 y 2003, lo que supone cinco veces más que la media del resto de mares y océanos del planeta. Según la misma investigación, la zona más occidental del Mediterráneo, frente a las costas españolas, es una de las que ha registrado una subida de temperatura, con 0,63° entre 1993 y 2003. La subida alarmante de la temperatura superficial del “Mare Nostrum” puede tener graves consecuencias sobre los ecosistemas del mar Mediterráneo.

Este incremento considerable es probablemente debido a las características especiales de este mar. Un factor que puede tener un efecto considerable, en este sentido, es su área específica. De modo general, la velocidad de calentamiento, o de enfriamiento, de un cuerpo es proporcional a su área específica que, conforme aumenta esta última, así lo hará su velocidad de calentamiento o de enfriamiento. El área específica (área/volumen) del mar Mediterráneo es de 0,66 km<sup>2</sup>/km<sup>3</sup>; sin embargo las de los océanos Atlántico, Pacífico y Índico, por ejemplo, no superan 0,25 km<sup>2</sup>/km<sup>3</sup>, según se muestra en la tabla siguiente. Por lo tanto la susceptibilidad del mar Mediterráneo al calentamiento es mayor. En definitiva los mares de poca profundidad, como el caso del mar Mediterráneo, son más vulnerables al cambio climático que los más profundos. Obviamente hay otros factores que pueden influir como los vientos, las corrientes marinas, el intercambio de aguas con otros mares y océanos, etc.

	Área (km <sup>2</sup> )	Volumen (km <sup>3</sup> )	Profundidad (m)	Área específica (km <sup>2</sup> /km <sup>3</sup> )
<b>Mar Mediterráneo</b>	<b>2,5 .10<sup>6</sup></b>	<b>3,8.10<sup>6</sup></b>	<b>1500</b>	<b>0,66</b>
<b>Océano Atlántico</b>	<b>82,4.10<sup>6</sup></b>	<b>323,6.10<sup>6</sup></b>	<b>3926</b>	<b>0,25</b>
<b>Océano Pacífico</b>	<b>165,2.10<sup>6</sup></b>	<b>707,6.10<sup>6</sup></b>	<b>4282</b>	<b>0,23</b>
<b>Océano Índico</b>	<b>73,4. 10<sup>6</sup></b>	<b>291.10<sup>6</sup></b>	<b>3963</b>	<b>0,25</b>

### **5.1.1. Gases de efecto invernadero**

El origen del cambio climático se encuentra en las emisiones masivas a la atmósfera de los gases llamado gases de efecto invernadero, de estructura molecular poliatómica, y son los responsables de absorber la radiación infrarroja reflejada por la Tierra y devolverla a la superficie de nuestro planeta produciendo calentamiento global.

El efecto invernadero no es un fenómeno nuevo, es tan antiguo como la Tierra y además es la razón por la cual la temperatura del planeta es adecuada para el desarrollo de la vida. Si no fuera por el efecto de los gases de efecto invernadero las temperaturas alcanzarán cifras que rondan los veinte grados centígrados bajo cero. El carácter beneficioso o perjudicial de los gases de efecto invernadero lo marca sus proporciones en la atmósfera.

Los principales gases de efecto invernadero son el dióxido de carbono, metano, óxido nitroso, ozono troposférico, vapor de agua, los gases sintéticos, etc. En el IPCC existe un equipo especial, que se encarga de los inventarios nacionales de los gases de efecto invernadero.

### **DIÓXIDO DE CARBONO**

En primer lugar de orden de importancia viene el dióxido de carbono. Su grado de importancia no es atribuida a su poder de efecto invernadero, sino por ser el más abundante; es decir a su alta concentración en la atmósfera respecto a los otros. La concentración de este gas era de 280 ppm en la era preindustrial (1750) y actualmente ronda los 375 ppm (un aumento del 35 %). Se origina por la combustión de combustibles fósiles y biomasa en los procesos industriales, el transporte, la incineración, la calefacción, etc.

### **METANO**

En segundo lugar de importancia, se ubica el metano (CH<sub>4</sub>), que es un gas mucho más potente que el CO<sub>2</sub>. Este gas pasó de una concentración de 715 parte por

billón (ppb) en la era preindustrial a la de 1774 ppb en el año 2005 (informe del IPCC 2007), suponiendo un incremento del 148%. Es un producto que se genera en los procesos de fermentaciones en el tracto digestivo del ganado, en la descomposición anaerobia de la materia orgánica en zonas húmedas y embalses, en los vertederos, etc. La ganadería intensiva ha acentuado sus emisiones en las últimas décadas.

## **ÓXIDO NITROSO**

Óxido nitroso ( $N_2O$ ), ocupa el tercer lugar de importancia. Aunque una parte de las emisiones de este gas es de origen natural, el ser humano también contribuye sobre todo con el uso de los fertilizantes en la agricultura intensiva. Según el cuarto informe del IPCC (2007), la concentración de  $N_2O$  pasó de 270 ppb, del año 1750, a 319 ppb en el año 2005, lo que supone un aumento del 18%.

## **EL OZONO TROPOSFÉRICO**

El ozono troposférico se genera en procesos naturales y en reacciones fotoquímicas de los gases derivados de la actividad humana. La fracción que se genera de forma natural proviene del ozono ya existente en la estratosfera y que es transportado hacia niveles más bajos y también de procesos naturales que tienen lugar en la biosfera y que dan lugar a la formación de ozono.

## **VAPOR DE AGUA**

El vapor de agua es también un gas de efecto invernadero muy potente. El cuarto informe del IPCC del año 2007, dice textualmente, que el promedio del contenido de vapor de agua en la atmósfera ha aumentado, al menos desde el decenio de 1980, tanto en tierra como en el océano, así como en la troposfera superior.

El vapor de agua, se considera, por muchos expertos, como el mayor responsable del calentamiento del mar Mediterráneo debido a su mayor tiempo de residencia en la zona, por la existencia de una sierra de altas montañas que impiden su transporte a otros sitios, y por tanto al aumentar su tiempo de permanencia, incrementa su efecto

invernadero sobre el mar Mediterráneo, y en consecuencia un incremento de las temperaturas de sus aguas.

## **HALOCARBONOS**

Entre los halocarbonos, se destacan los clorofluorocarbonos (CFC), que tienen un efecto extremadamente potente en comparación con el de dióxido de carbono, como también, tienen el poder de reducir el ozono estratosférico. El ozono estratosférico desempeña la gran función de protección de las radiaciones ultravioletas que son perjudiciales para la vida.

## **5.2 ENRIQUECIMIENTO DE LOS ECOSISTEMAS MARINOS POR NUTRIENTES**

Justus von Liebig descubrió lo que se conoce como la “Ley mínima”, que dice “la productividad del ecosistema está limitada por el alimento que se agota primero”. En el océano los elementos nutritivos limitantes son fundamentalmente los siguientes:

- Fósforo (como fosfato orgánico e inorgánico)
- Nitrógeno (como nitrato, nitrito y amonio)
- Silicio (como silicato)

En los océanos la incorporación de nutrientes por el fitoplancton tiene lugar en la zona eufótica (la capa superficial hasta donde alcanza la luz). La mayoría de los nutrientes se eliminan de la zona eufótica y se transfieren hacia los fondos marinos a medida que se hunden los organismos muertos (detrito). En las capas más profundas la materia orgánica se remineraliza por acción bacteriana. Este proceso requiere oxígeno.

Parece que estos tres elementos no son los únicos nutrientes limitantes del crecimiento. En las últimas décadas se ha puesto de manifiesto que el hierro también limita el crecimiento en muchos ecosistemas marinos. Y de hecho una de las teorías, postuladas, para frenar el calentamiento global, es la de fertilizar los océanos con el

hierro, para acelerar la fotosíntesis, y de esta forma aumentar la capacidad de los océanos para absorber el dióxido de carbono.

### **5.2.1 AFLORAMIENTO DE NUTRIENTES (UPWELLING)**

La estructura de las corrientes marinas a escala global es tridimensional, con movimientos horizontales en los que el viento juega un importante papel y con movimientos verticales, en los que la salinidad y temperatura son las fuerzas impulsoras.

Los “upwelling” son las corrientes marinas de afloramiento, que suben desde el fondo marino hasta la superficie. Cuando las masas de aguas superficiales se hunden, las aguas de fondo, ricas en nutrientes y que también pueden contener quistes de los dinoflagelados, emergen y, en condiciones adecuadas germinan y empiezan a crecer y a dividirse hasta formar un “bloom”.

### **5.2.2. EUTROFIZACIÓN CULTURAL**

Los nutrientes claves en la eutrofización marina son el nitrógeno y el fósforo, aunque también tienen importancia otros, como la sílice y los oligoelementos. El enriquecimiento en nutrientes causa una mayor productividad primaria de las algas en las capas superficiales y el lecho marino, seguida de una mayor productividad secundaria de los animales marinos. Aunque cierto enriquecimiento llega a ser beneficioso, su exceso puede causar grandes proliferaciones de algas y excesivo crecimiento de la hierba marina, agotamiento del oxígeno y producción de sulfuro de hidrógeno, que resulta tóxico para la vida del mar y puede causar grandes mortandades. Los fenómenos de eutrofización afectan asimismo a la salud y a los usos recreativos de las zonas litorales. El umbral de concentración de nutrientes, por encima del cual la eutrofización se convierte en un problema medioambiental, depende de la topografía y de la naturaleza física y química del mar. Por lo general, las concentraciones fluctúan entre los altos niveles invernales y los cercanos a cero, tras la primavera.

La tendencia creciente de aparición de las FAN está estrechamente relacionada con el aumento de vertidos domésticos, industriales o agrícolas al mar, (Lam CWY et Ho KC. 1989; Anderson et al., 2001) que dan lugar a elevadas concentraciones de

nutrientes (nitratos, fosfatos, etc.) en las aguas costeras favoreciendo la aparición de estas proliferaciones (Smayda TJ. 1990).

El enriquecimiento de las aguas litorales debido a la ocupación humana durante todo el año, pero especialmente durante los meses de verano, así como los cambios en el uso del suelo provocan un aumento de la concentración de nutrientes. Los nutrientes llegan al mar por diferentes vías, emisarios, vertidos directos, ríos y rieras, escorrentía y aguas subterráneas, favoreciendo el crecimiento de las microalgas, y particularmente el desarrollo de proliferaciones masivas de estos organismos que en las condiciones naturales del mar Mediterráneo serían muy poco probables.

De forma resumida, los cambios en la concentración de los nutrientes en las costas, por efecto de las actividades humanas se manifiestan de la forma siguiente:

1. Aumento en la concentración de nutrientes, especialmente en épocas estivales.
2. Cambio en la relación de nutrientes provocado por el aumento de nitrógeno y fósforo en detrimento del silicato.
3. Aumento de las formas de nitrógeno orgánico asociados a las actividades humanas.

Estos tres hechos están considerados actualmente como las principales causas del aumento de proliferaciones algales nocivas a nivel mundial (Masó y Garcés, 2006).

La acuicultura podría ser, una gran proveedora de proteínas marinas, para la humanidad, ya que los bancos de peces, van agotándose, por el exceso de las capturas, Sin embargo puede acentuar el problema de la eutrofización de las costas e inducir la aparición de las floraciones algales nocivas.

El mar Mediterráneo se caracteriza por ser uno de los mares más oligotróficos el mundo. Sin embargo, la eutrofización puede resultar un grave problema en bahías cerradas y otras zonas con poca renovación de sus aguas. En la península Ibérica aparece este tipo de contaminación en el sureste, en la franja comprendida entre Murcia

y Gibraltar y en la desembocadura del Ebro. En el resto del Mediterráneo aparecen áreas muy contaminadas, incapaces de solventar este exceso de fertilizantes y, en consecuencia, con una proliferación excesiva de determinadas algas y una reducción alarmante de las especies menos resistentes. Entre estas zonas destacan el norte del mar Adriático, las costas orientales de Túnez, la desembocadura del Nilo y del Ródano y amplias zonas del estrecho de Dardanelos.

### **5.3. ARTIFICIALIZACIÓN DE LA LÍNEA DE COSTA**

El entorno costero viene empeorando, cada vez más, debido a un desarrollo urbanístico insostenible. Las costas de Benidorm, en el mediterráneo español, es un claro ejemplo del enorme desarrollo urbanístico de las costas.

La artificialización de la línea de costa, tiene como consecuencia la modificación de la dinámica costera. La creación de ambientes de bajo hidrodinamismo debida a las modificaciones efectuadas en el litoral con fines recreativos (playas protegidas, espigones, puertos deportivos), favorece la aparición de proliferaciones algales nocivas (Vila y Masó, 2005). El ambiente de bajo hidrodinamismo favorece a los dinoflagelados ya que tienen mucha capacidad de adaptación. Los puertos y playas protegidas actúan como trampas de sedimentos y de los quistes de resistencia de los dinoflagelados (Bravo et al., 2006). Esto incide en aumentar la probabilidad de recurrencia de un mismo evento nocivo.

En las costas españolas del mar Mediterráneo, el incremento del nivel de vida, que han experimentado sus poblaciones, en las últimas décadas, ha inducido a la adquisición de segundas viviendas en las costas. Otro fenómeno, es el constante crecimiento demográfico de las poblaciones de sus costas y el desarrollo urbanístico e infraestructuras conexas que generan presiones sobre el medio ambiente.

En Marruecos, las costas del mar Mediterráneo son menos pobladas y menos urbanizadas que las costas españolas. Sin embargo, en los últimos años se está invirtiendo de manera muy acelerada en las infraestructuras de la zona; lo más seguro es que las costas marroquíes del Mediterráneo se encaminaran en la misma dirección que las españolas, demográfica y urbanísticamente. El puerto de los contenedores “Tánger-

Med”, situado en las costas de Tánger, y que está en proceso de construcción, una vez terminado se considerará el puerto más grande del Mediterráneo. Además Marruecos planea construir un segundo puerto en el noroeste de Marruecos que se añadirá al de “Tánger-Med”. Es de prever que los dos puertos marroquíes deberían tener, en el año 2015, capacidad para 8,5 millones de contenedores al año (3,5 millones Tánger-Med y cinco el nuevo), lo que supondrá otro impacto al entorno marino.

#### **5.4. INTRODUCCIÓN DE ESPECIES FORÁNEAS Y AUMENTO DE SUS VECTORES DE DISPERSIÓN**

Las especies invasoras exóticas son consideradas la mayor amenaza para la diversidad biológica después de la destrucción del hábitat. La introducción de especies alienígenas por medios artificiales como a través de las aguas de lastre, o el movimiento de semillas de moluscos entre áreas de cultivo se ha considerado como factor de incremento de PAN (Hallegraeff, 1992). Las especies invasoras, incluso las responsables de las floraciones algales nocivas, producen desequilibrios en el ecosistema marino mediante los siguientes efectos:

- Predación sobre especies autóctonas que carecen de sistemas de defensa ante tales depredadores.
  
- Competencia con otras especies que ocupan el mismo hábitat y que tienden a ser desplazadas.
  
- Alteración del hábitat.
  
- Pérdida de diversidad biológica marina.

El mar Mediterráneo es un mar excepcionalmente susceptible a las invasiones biológicas. En 1869, la apertura del canal de Suez unió el mar Mediterráneo con el océano Índico, a través del mar Rojo. El canal de Suez ha propiciado la invasión de muchas especies marinas; al menos 300 especies provenientes del Índico se han establecido recientemente en el Mediterráneo, lo que supone un 4% de la flora y fauna mediterránea actual.

El transporte de organismos adheridos a los cascos de embarcaciones y en el agua de lastre ha sido un factor de introducción de especies desde la antigüedad, de tal forma que muchas especies propias de los puertos son especies de distribución actualmente cosmopolita pero que tenían una distribución geográfica muy restringida en la antigüedad. Las naves modernas están diseñadas para transportar cargas pesadas. Al ser descargadas las mercancías, las naves se vuelven inestables, y por eso se añade agua de lastre que proporciona estabilidad a las naves. Además de usar el agua para la maniobrabilidad y estabilidad del barco, se usa para compensar el resultado del consumo del combustible durante el viaje.

Se estima que 60000 barcos atraviesan el estrecho de Gibraltar cada año, de los cuales 2000 son barcos que transportan productos químicos y 5000 petroleros (EEA, 2005).

EL agua de lastre de los barcos, es un considerable factor en la homogeneización de las poblaciones de plancton a nivel mundial. Los vectores de introducción de especies en el medio marino son muy diversos.

Los plásticos flotantes pueden ser un potencial vehículo de dispersión e introducción de especies de microalgas invasoras (Masó et al., 2003). El conocimiento de la distribución de las especies potencialmente nocivas en una determinada área es fundamental para poder seguir su evolución y posible expansión. Según el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente, PNUMA, (UNEP por sus siglas en inglés), en los océanos hay en torno a 13000 fragmentos de plásticos flotando por cada km<sup>2</sup>. Sobre estas balsas flotantes que navegan por los océanos siguiendo las corrientes marinas, se adhieren pequeñas criaturas que recorren largas distancias hasta llegar a costas extranjeras y donde pueden causar graves daños a los ecosistemas. Los residuos plásticos se convierten de esta manera en un vector de especies invasoras que compiten por los recursos con las especies autóctonas.

**6. FLORACIONES ALGALES NOCIVAS EN LAS COSTAS MARROQUÍES,  
DEL MAR MEDITERRÁNEO**

Las costas mediterráneas marroquíes (ver el mapa siguiente), de una extensión de 460 Kilómetros, que se extienden desde Tánger hasta Saidia, han experimentado un gran crecimiento urbanístico, en los últimos años. Desde el año 1974 hasta 1994, el número de las ciudades costeras de tamaño medio ha aumentado de 16 Hasta 30, y el de las pequeñas ciudades de 2 hasta 14 (EEA, 2005). Los problemas ambientales principales son causados por las aguas residuales urbanas e industriales, por el tráfico marítimo y por la urbanización de las costas.



*Mapa de las costas mediterráneas marroquíes*

Las zonas más urbanas son las más contaminadas y son las siguientes (AAE, 2005):

- Tánger (640000 Habitantes).
- Tetuán (333000 Hab.)
- Nador (149000 Hab.)
- Al Hoceíma (65000 hab.)

En este litoral, Marruecos posee unas de las zonas de moluscos bivalvos más importantes del país. En la región de Tetuán está la zona situada entre Fnideq y Kaa Srrass, y en la región de Nador se encuentra la Laguna de Nador (MarChica) y la zona

situada entre Cabo de Agua y Essaidia. El presente estudio se centra en las costas de las dos regiones mencionadas (las regiones de Tetuán y Nador), debido a la importancia económica que tienen estas regiones costeras, tanto en relación con las actividades relacionadas con la recolección y extracción de los moluscos bivalvos, como en el sector turístico.

### 6.1. REGIÓN DE TETUÁN

La zona de Tetuán (ver el mapa siguiente) conoce una actividad de recolección y extracción de bivalvos muy importante.



*Mapa de la Región de Tetuán*

La topografía de la costa de esta zona tiene generalmente una pendiente baja, lo que produce un flujo de agua hacia el mar en épocas lluviosas. Esta región presenta generalmente una buena calidad físico químico de las masas de agua, con niveles de nitratos, fosfatos, pH y oxígeno disuelto típicos de aguas no contaminadas. Sin embargo valores elevados de la concentración en nitratos son registrados de vez en cuando en Oued Laou y Martil (Berraho, 2006).

La zona de Tetuán, en general, tiene un clima típicamente del mediterráneo, con una elevada tasa de humedad y se caracteriza por dos periodos del año bien diferenciados, uno fresco y húmedo entre Octubre y Abril; con temperaturas que oscilan entre 12 y 20 grados centígrados y otro seco entre mayo y Septiembre con temperaturas por encima de los 20 grados centígrados.

Las aguas de la zona del litoral mediterráneo, situado entre Fnideq y Kaa Srass, son de una calidad microbiológica buena en general, excepto en épocas lluviosas, se alcanzan valores sobrepasando los límites de la salubridad del agua en Kabila, Martil y Oued Laou. Las lluvias torrenciales que suceden en estos sitios, en los periodos invernales, arrastran los contaminantes, engendrados por la actividad terrestre, hacia el mar por los ríos Oued Martil, Oued Smir y Oued Laou (Berraho, 2006).

Los residuos que afectan la calidad del medio receptor a nivel de esta zona, son representados por la aguas de los ríos Oued Mellah, Oued Laou y Oued Martil. Este último sufre una contaminación muy elevada, recibe los residuos industriales y urbanos de la ciudad de Tetuán. Este eje litoral, además contiene los puertos de Ocio de Kabila, Marina y Marina Smir y el puerto de pesca de M´diq.

La zona Kabila-Martil, Es una zona situada al NO de la región de Tetuán, y posee tres ríos: Oued Martil, Oued el Mellah y Oued Smir. Su costa es muy urbanizada y durante el verano recibe un importante flujo de turistas. En la zona existen tres pequeños puertos (M´diq, Kabila y Marina SMir); el primero es de pesca y de ocio y los otros dos son de ocio.

La zona Oued Laou- Kaa Sgrass, está situada en la zona sureste (SE) de la región de Tetuán, recorrido por el río Oued Laou. Su costa es menos urbanizada pero en épocas estivales recibe un flujo considerable de visitantes.

## 6.2. REGIÓN DE NADOR

La laguna de Nador (ver el mapa siguiente), es una laguna costera. Las lagunas costeras son ecosistemas poco profundos que se unen al mar por una o varias admisiones restringidas (Pinot, 1998). La laguna de Nador está separada del mar Mediterráneo por un cordón de arena, de 24 kilómetros de longitud, llamada, también, Marchica, de 11500 hectáreas de superficie, situada entre Cabo Tres Forcas y Cabo de Agua, en el litoral noroeste marroquí.



*Mapa de la región de Nador*

El clima de la laguna es de tipo Mediterráneo, con precipitaciones variables de un año a otro y que oscilan alrededor de 400 mm/año, con puntos máximos en Diciembre y en Abril. Las temperaturas de la zona varían entre un mínimo de 13°C en los meses de Enero y unos máximos, de 26 °C, en los meses de Agosto.

La laguna es relativamente somera, con una profundidad máxima de 6 a 7 metros. Sus aguas presentan una salinidad media de 38 ‰ y concentraciones de oxígeno disuelto oscilantes, entre 3,9 ml/L en el centro y 10,5 ml/L cerca de la bocana (González-Regalado, 2005).

La laguna de Nador, sufre una fuerte presión antrópica. La densidad poblacional en la zona supera los 120 habitantes por km<sup>2</sup>.

Alrededor de La laguna de Nador, se sitúan tres núcleos urbanos: (i) Beni-Enzar, (ii) Kariat Arekman y, (iii) Nador capital. Los dos primero núcleos evacuan sus aguas residuales sin tratar, y solo una parte de Nador capital depura sus aguas residuales. La planta de tratamiento de aguas residuales (tratamiento con fangos activados) de la ciudad de Nador fue construida en el año 1980, con una capacidad de tratar aguas servidas de una población de 50000 habitantes, luego se amplió a 100000 habitantes en 1980. Actualmente la población de Nador capital supera los 150000 Habitantes (149000 en el año 2003). En general la calidad de las aguas evacuadas, después de su tratamiento, es baja.

Además, los aportes continuos, de aguas contaminadas, encaminadas hacia la laguna de Nador, por Oued Selouane, los canales de irrigación y esorrentía, constituyen unas fuentes adicionales de contaminación. En consecuencia, la laguna sufre una contaminación orgánica elevada, y una concentración de oxígeno disuelto muy baja (El Alami *et al.*, 1998).

La zona de Chaala situada entre la estación de bombeo y la de tratamiento de las aguas residuales (Ver el mapa siguiente), es la zona mas afectada. La desembocadura del río "Oued Caballo" incrementa la contaminación de esta zona.



***Mapa de la zona de Chaala (Nador), de mayor índice de contaminación orgánica***

Esta situación se agrava en épocas estivales, cuando las temperaturas son elevadas, por lo tanto la solubilidad del oxígeno es baja, y cuando la población de la región se duplica debido el retorno de los inmigrantes desde Europa, para pasar las vacaciones junto a sus familiares.

El análisis del fitoplancón tóxico del litoral occidental Marroquí demuestra que la especie de los dinoflagelados de *Gymnodinium Catenatum* y el genero *Alexandrium* son los principales agentes de la contaminación de los bivalvos por PSP. Según el informe del INRH (Institut National de recherche Halieutique) del año 2005, existe una correlación muy estrecha entre la aparición de estos dinoflagelados y el aumento de las toxinas PSP en los bivalvos.

*Alexandrium* es el grupo de microalgas que causa más problemas de FAN en el mar Mediterráneo. A este género pertenecen especies muy conocidas en todo el mundo tanto por la producción de toxinas paralizantes (PSP) como por su capacidad para producir proliferaciones masivas que causan problemas de diferente naturaleza. Hasta

hoy en día, las únicas especies del género de los *Alexandrium* identificadas en las costas marroquíes del mar Mediterráneo son *Alexandrium minutum* y *A. Affine* (Rijal leblad et al., 2007)

*Alexandrium minutum* es el dinoflagelado, productor de toxina paralizante PSP, más extendido en el mar Mediterráneo, y sus proliferaciones masivas son ya conocidas en varios puertos y bahías de la costa de Cataluña, Baleares, Sicilia y Alejandría, habiendo causado pérdidas económicas importantes en el sector de la acuicultura. Fue descrita en el puerto de Alejandría en el año 1960. También se puede encontrar en el Océano Atlántico.

En el eje situado entre Kabila y Oued Laou, la presencia de *Alexandrium minutum* es habitual en los meses de verano. La laguna de Nador está, también, sujeta a proliferaciones repetitivas de *Alexandrium minutum*, en periodos comprendidos entre el invierno y la primavera. Estas proliferaciones pueden alcanzar concentraciones elevadas, sin decolorar las aguas, a temperaturas comprendidas entre 12 grados centígrados, en el mes de diciembre, y 18 grados centígrados en el mes de abril. La ocurrencia de las proliferaciones de esta especie es debida, muy probablemente, a la existencia de un stock de quistes de esta especie en los sedimentos de la laguna.

La laguna de Nador conoció durante el año 1998 proliferaciones de *Alexandrium* (*Alexandrium minutum*) y en el año 1999 proliferaciones de *los Alexandrium* y de los *Dinophysis*. Durante la primavera del año 2000 hubo proliferación de *A. minutum* en la zona de Chaala, lo que causó la contaminación del bivalvo *Ensis Arcuatus* (navaja) por PSP (Berraho, 2006).

Los episodios de las toxinas PSP son observados en periodos comprendidos entre el invierno y la primavera; se detectan concentraciones de PSP que superan los límites exigidos, para comercializar los productos extraídos de la laguna, tales como *Crassostrea gigas*, *Ruditapes decussatus* y *Solen marginatus*.

En los años 2003 y 2004 estas proliferaciones de la *A. minutum* han surgido, en la laguna de Nador, después de fuertes precipitaciones que han tenido lugar en esta región. Parece que la temperatura es un factor determinante en el desarrollo de esta

especie en la zona, ya que no se ha observado ninguna proliferación durante el invierno del 2005, que fue excepcionalmente frío en la zona (informe del INRH 2005). *Alexandrium minutum* es una especie intrínseca en la laguna de Nador. A nivel socioeconómico, las floraciones de *Alexandrium minutum* impide el desarrollo de la actividad extractiva, de los bivalvos, en la laguna de Nador.

*Gymnodinium Catenatum*, es uno de los dinoflagelados causantes de las mareas rojas detectadas en México, Argentina, Europa, Australia, Japón, Nueva Zelanda, Singapur, Brasil, Australia y extensas zonas de África. Originario y común en la zona del Pacífico norteamericano de California y México, su distribución actual afecta a numerosos puntos del planeta.

La presencia de *Gymnodinium Catenatum*, en el mar Mediterráneo, fue tradicionalmente, restringido solamente a aguas eutróficas del mar de Alborán y se pensaba que la línea Almería- Orán era una barrera para esta especie, sin embargo, en septiembre de 1999 se ha identificado su presencia por la primera vez en la cuenca Argelina, en agua oligotróficas y además en concentraciones próximas a las que se producen la contaminación de los bivalvos con PSP ( $\approx 1000$  cél/L) en el mar de Alborán (F. Gómez, 2003). La propagación de esta especie es debida, primero al hecho que su modo nutritivo es tanto autotrófico de día en la superficie como heterotrófico de noche en las profundidades y, segundo por su capacidad para formar cadenas, lo que facilita la explotación de los nutrientes durante la noche.

A lo largo del eje Kabila Oued Laou, hay una presencia permanente de *Gymnodinium Catenatum* (Rijal leblad, 2006). En La laguna de Nador, *Gymnodinium catenatum* es exógeno y se desarrolla fuera de la laguna y su presencia en esta última es debido al intercambio de masas de agua entre la laguna y el mar Mediterráneo. En la laguna, también se ha observado la presencia de *Gymnodinium sanguineum* durante los años 1999 y 2000 en concentraciones que oscilan entre  $10^4$  y  $10^5$  cél/L. Estos dinoflagelados no son tóxicos pero pueden causar nocividad, por obstrucción de las agallas de las ostras a partir de concentraciones superiores a  $10^5$  cél/L (Barraho, 2006).

Según el informe del INRH del año 2005, las proliferaciones de estos dinoflagelados ocurren entre periodos situados entre septiembre y marzo. En la zona situada entre Cabo de Agua y Essaidía, se han observado concentraciones elevadas de *Gymnodinium Catenatum* en enero de 1999 y en enero de 2000; en el primer año, las concentraciones de estos dinoflagelados fueron muy superiores, causando una contaminación por PSP de los moluscos bivalvos tales como las almejas *Callista chione* y *Chamelea gallina* (Berraho, 2006). Parece que este dinoflagelado se encuentra en las aguas marroquíes, de las costas mediterráneas, de forma permanente a lo largo de todo el año y sus máximas densidades son observadas durante la primavera y en otoño (Tahri, 2007).

*Dinophysis spp.*, está implicado en la producción de la DSP. La presencia de esta especie es esporádica con ciertas proliferaciones estacionales. Los dinoflagelados del género *Dinophysis* constituyen la principal amenaza natural para la explotación de bivalvos comerciales en Galicia y en la costa atlántica de Andalucía.

Las especies productoras de las toxinas DSP en la laguna de Nador, se encuentran casi permanentemente en sus aguas y son *Dinophysis acuminata*, *Dinophysis sacculus*, y *Prorocentrum minimum*. Las dos últimas especies se encuentran casi permanentes en la laguna.

Las especies *Dinophysis sacculus* y *Dinophysis acuminata* alcanzan concentraciones que oscilan entre decenas y centenares de miles de células por litro. En el año 2000, una proliferación masiva de *Dinophysis sacculus* y *Dinophysis acuminata*, que alcanzaron concentraciones de  $1,3 \cdot 10^5$  cél/L, produjo contaminación de ostras por DSP. Fue la primera contaminación por DSP en Marruecos (Tahri *et al*, 2003)

La presencia de la especie *Prorocentrum minimum*, en la laguna de Nador, es más importante que las de *Dinophysis*, en cuanto a densidad y frecuencia (INRH, 2005)

*Dinophysis caudata* es a menudo observada en las costas comprendidas entre Kabilia y Oued Laou. En las costas marroquíes del mar Mediterráneo, la concentraciones máximas, de esta especie, suelen registrarse en primavera (Tahri, 2007)

La especie *Noctiluca Scintillans*, es de gran tamaño (100-200 micras), es totalmente heterótrofa y por lo tanto consume oxígeno tanto de día como de noche, puede causar mortalidad a las especie por agotamiento de oxígeno. Llega a colorear el agua de mar a bajas densidades en comparación con otras especies debido a su gran tamaño. Según el mismo informe del INRH, entre 2002 y 2005 se ha observado tres mareas rojas en la zona de Tetuán debido a esta especie. *Noctiluca Scintillans*, en la mayoría de las veces, es el responsable de las mareas rojas observadas en el Mediterráneo y en las costas mediterráneas de Marruecos. También se dan proliferaciones de está especie en las costas andaluzas (Málaga, Granada y Almería).

Otras especies del género *Alexandrium*, como el caso de *Alexandrium Catenella* y *Aexandrium taylori*, están en expansión por el mar Mediterráneo. *A. catenella*, es una especie de aparición mucho más reciente en el Mediterráneo ya que el primer episodio tóxico fue en 1998. Posiblemente ha llegado este procedente de Japón mediante las aguas de lastre. La especie se está expandiendo actualmente por el Mediterráneo occidental; sin embargo, hay evidencias claras de su expansión geográfica en los últimos años. Esta especie es capaz de causar serios problemas, para el futuro de la acuicultura en el mar Mediterráneo.

*A. taylori*, es una especie problemática en las costas catalanas. Desde los años 80 causa decoloraciones recurrentes durante los meses de verano en determinadas playas, sobre todo en la costa Brava y de las Islas Baleares. También se ha descrito el mismo fenómeno en las islas Vulcano (Sicilia). Si bien no se han descrito efectos sobre la salud humana asociados a esta especie, los problemas provienen del deterioro de la calidad recreativa del agua que puede ocasionar pérdidas económicas importantes en el sector turístico.

Las especies de las diatomeas, del género *Pseudonitzschia*, son las especies productoras de las toxinas ASP. En las costas marroquíes del Mediterráneo, las concentraciones óptimas de este genero se observan en invierno (Tahri, 2007). La presencia de *Pseudonitzschia spp* es muy frecuente en la laguna de Nador y pueden alcanzar concentraciones elevadas de centenares de miles de células por litro, sin embargo jamás fueron asociadas a la contaminación de los bivalvos por ASP en la laguna.

Debido al desarrollo urbanístico y turístico que está previsto en las costas del mediterráneo marroquí para los próximos años, es de prever un incremento notable, en el número de puertos, playas artificiales, rompeolas, etc., que probablemente inducirá a la formación de microhabitats favorables a las proliferaciones algales nocivas.

**7. OTRAS PROLIFERACIONES EN LAS COSTAS DEL MEDITERRÁNEO:  
“BLOOM” DE MEDUSAS**

No se puede ignorar otro problema de proliferación en el mar Mediterráneo, el de la proliferación masiva de las medusas, sobre todo en los últimos años. Parece que en los últimos veranos, las condiciones ambientales fueron ideales para las medusas y en consecuencia hubo proliferaciones masivas de medusas, no sólo en las costas marroquíes, sino también en otros sitios del Mediterráneo, destacando las costas andaluzas.

El verano del 2007, fue un año con muchas proliferaciones de medusas en las costas andaluzas. Las más afectadas fueron las costas de Granada, las de Málaga y después las de Almería. La Dirección General de Costas del Ministerio de Medio Ambiente (MMA) ha retirado durante el mes de agosto del 2007 más de 6580 kilos de diferentes tipos de medusas en esas provincias andaluzas bañadas por el Mediterráneo dentro de la campaña de estudio y detección de las medusas. Los informes de seguimiento, de la Dirección General de Costas del Ministerio de Medio Ambiente (MMA) del año 2007, muestran que las medusas más frecuentes y abundantes en el litoral mediterráneo son *Pelagia noctiluca* y *Aurelia aurita*, que suponen el 92,8% de las retiradas.

Las posibles, principales factores que inducen a las proliferaciones de las medusas son los siguientes:

- Descenso de las precipitaciones en invierno.
- Aumento de la radiación solar.
- Aumento de la salinidad de las aguas costeras.
- Contaminación por hidrocarburos.
- La fuerte eutrofización.
- Sobreexplotación pesquera.

Otro factor importante y que puede tener un gran rol en estas proliferaciones, es el descenso de la población de las tortugas marinas. Las tortugas marinas, son las depredadoras naturales de las medusas. Además de Las capturas accidentales de las tortugas, que asciende a 2500 individuos al año, existe el problema de los plásticos A lo largo de las costas andaluzas, existe una intensiva actividad agrícola, lo que supone una cantidad enorme de desechos, entre los cuales se destacan los plásticos. De una manera u otra, una parte de estos desechos llegan a las aguas de las costas. Un trozo de plástico en el agua es muy parecido a una medusa y las medusas constituyen una parte importante de la dieta habitual de las tortugas marinas.

## **8. BIBLIOGRAFÍA**

Alonso-Rodríguez, R. & F. Páez-Osuna. 2003. Nutrients, phytoplankton and harmful algal blooms in shrimp ponds: a review with special reference to the situation in the Gulf of California. *Aquaculture* 219: 317-336.

Anderson D.M., Andersen P., Bricelj V.M., Cullen J.J., Rensel J.E. 2003. Monitoring and management Strategies for Harmful Algal Blooms in Coastal Waters, APEC ·201-MR-01.1. Asia Pacific Economic Program, Singapore, and Intergovernmental Oceanographic Commission Technical Series, Paris. 2001; No. 59. 268 pp.

Anderson, D.M., P. Hoagland, Y. Kaoru y A. W. White. 2000. Estimated Annual Economic Impacts from Harmful Algal Bloom (HABs) in the United State, Technical report WHOI-2000-11. Woods Hole Oceanographic Institute, Woods Hole, Mass.

Berraho Abdellatif. 2006. Evaluation du milieu marin. En “50 ans de développement humain au Maroc et perspectives pour 2025”. ([www.rdh50.ma](http://www.rdh50.ma))

Ciminiello P, Dell'Aversano C, Fattorusso E, Forino M, Magno S, Guerrin F. 2003. Complex yessotoxins profile in *Protoceratium reticulatum* from north-western Adriatic sea revealed by LC-MS analysis. *Toxicon*. 42 7-14.

Cortés-Altamirano R. 1998. Las Mareas Rojas. A.G.T. Editor, S. A. México, D.F. 161pp.

EEA/ European Environment Agency. 2005. Priority issues in the Mediterranean environment. ISBN 92-9167-711-X

El Alami M., Mahjoubi R., Damnati B., Kamel S., Icole M., Taieb M. 1998. Sédimentologie et géochimie organique des sédiments superficiels de la lagune de Nador (Maroc nord - oriental). *Journal of African Earth Sciences*, (2) 26, pp. 249-259.

Eurostat et UNEP/Plan Blue. 2005. Méditerranée: les perspectives du Plan Bleu sur l'environnement et le développement. Edition de l'Aube.

EL Madani Faid. 2004. Surveillance des efflorescences nuisibles au phytoplanctoniques nuisibles au niveau de la lagune de Nador. In Management of recreational waters in relationship with harmful microalgae blooms (HAB) in the Mediterranean Sea. 25- 26 October 2004 - Calvià, Mallorca. Spain.

García Camacho F, Rodríguez JG, Mirón AS, García MCC, Belarbi EH, Chist Y. 2007. Biotechnological significance of toxic marine dinoflagellates, *Biotechnology Advances*. 25 176-194.

Gomez, F. 2003. Checklist of Mediterranean free-living dinoflagellates. *Bot.- Mar.* 46: 215-242.

González-Regalado M.L., F. Ruiz, M. Abad, N. Hamoumi, E.H. Boumaggard, I. Bouamterhane, F. Gueddari, A. Toumi, K. Dassy y R. Ben Ahmed. 2005. Distribución de los foraminíferos bentónicos en climas semiáridos: las lagunas de Nador (Marruecos) y El Meleh (Túnez). *GEOGACETA* 37.

Granéli, B. Sundstrom, L. Edler, & D.M. Anderson (eds.), Toxic marine phytoplankton. Elsevier, New York.

Guerrini F, Ciminiello P, Dell'Aversano C, Tartaglione L, Fattorusso E, Boni L. 2007. Influence of temperature, salinity and nutrient limitation on yessotoxin production and release by the dinoflagellate *Protoceratium reticulatum* in batch-cultures. *Harmful Algae*. 6 707-717.

Hallegraeff, G. 1992. A review of harmful algal blooms and their apparent global increase. *Phycologia* 32(2): 79-99.

Harris, G. P. 1986. Phytoplankton Ecology. Structure, function and fluctuation. Chapman & Hall, Londres. 384 p.

Horner, R.A., J.A. Postel, & J.E. Rensel. 1990. Noxious phytoplankton blooms in Western Washington waters. A review. pp. 171-176.

IPCS. 1984. International Programme on Chemical Safety. Aquatic (Marine and Freshwater).

Lam CWY, Ho KC. 1989. Red tides in Tolo Harbour, Hong Kong. In: Okaichi T, Anderson DM, Nemoto T, eds, Dred Tides: Biology, Environmental Science and Toxicology, Elsevier, New York, pp.49-52.

Landsberg, J.H. 2002. The effects of harmful algal blooms on aquatic organisms. *Rev. Fish Sci.* 10: 113-390.

LE Graham, LW Wilcox. 2000. Algae, Prentice Hall.

Marasoviæ, I. 1990. Summer phytoplankton blooms en the Kastela Bay (Adriatic Sea) from 1980 to 1990. *Red tide Newsletter* 3(3): 3-4.

Masó Mercedes and Garcés Esther. 2006. Harmful microalgae blooms (HAB); problematic and conditions that induce them. *Marine Pollution Bulletin*, 53. 10-12, 620-630 pp.

Masó Mercedes and Vila Magda. 2005. Phytoplankton functional groups and harmful algal species in anthropogenically impacted waters of the NW Mediterranean Sea. *Scientia Marina*, ISSN 0214-8358, Vol. 69, N°. 1, 2005 , 31-45.

Masó Mercedes, Garcés Esther, Pagés Fransec, camp Jordi. 2003. Drifting plastic debris as a potential vector for dispersing Harmful Algal Bloom (HAB) species. *Scientia Marina*, ISSN 0214-8358, Vol. 67, N°. 1, pp. 107-111.

Mons, M.N., Van Egmond, H.P. & Speijers, G.J.A. 1998. Paralytic shellfish poisoning: A review. RIVM Report 388802 005.

Pinot J.P. 1998). La gestion du littoral. Paris, Institut océanographique. Vol 2., pp 759.

Reguera, J. Blance, M. L.Fernandez, and T. Wyatt, eds. Xunta de Galicia and Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO, Paris, France.

Rijal leblad, Benlahcen. 2006. Variation spatio-temporelle des espèces phytoplactoniques réputées toxiques au niveau de la cote Méditerranéenne Marocaine. Memoire de DESA. Universite Abdelmalik Essaidi. Faculte des sciences. Tetuán. Maroc.

Rijal Leblad Benlahcen, Mouna Daoudi, Lalla Mina Hassani, Amina Dallal & Faid El Madani. 2007. Les espèces d'*Alexandrium* rencontrées au niveau des côtes marocaines. First IOC/HANA Workshop on Harmful Algal Blooms in North Africa, Casablanca, Morocco, 18 – 20 october 2007.

Romdhane, M.S., H.C. Eilertsen, O.K.D. Yahia, and M.N.D. Yahia.1998. Toxic dinoflagellate blooms in Tunisian lagoons: causes and consequences for aquaculture. *Harmful Algae*. pp. 80-83.

Sar E.; Ferrario M.E, Reguera B. 2002. Floraciones Nocivas en el Cono Sur Americano. 2002. Instituto Español de Oceanografía, Vigo, España, pp 311.

Sellner, K.G. 1997. Physiology, ecology, and toxic properties of marine cyanobacteria blooms. *Limnol. Oceanogr.* 42: 1089-1104.

Smayda TJ. 1990. Novel and nuisance phytoplankton blooms in the sea: evidence for a global epidemic. In: Graneli E, Sunström B, Edler L, Anderson DM, eds, Toxic Marine Phytoplankton, Elsevier, New York, pp. 29-40.

Smith, V.H. 2003. Eutrophication of freshwater and coastal marine ecosystems: a global problem. *Environ. Sci. Pollut. R.* 10: 126-139.

Suárez B., Guzmán L. 1999. Mareas Rojas y Toxinas Marinas, Floraciones Algales Nocivas. Santiago de Chile. pp77.

Tahri Joutei L. 1998. *Gymnodinium catenatum* Graham blooms on Moroccan waters. In Reguera, B., Blanco, J., Fernandez, M. & T. Wyatt, eds. 1997. *Harmful Algae, Proceedings of the VIII International Conference on Harmful Algae*, (June 1999, Vigo, Spain), pp. 66-67. Xunta de Galicia and IOC of UNESCO.

Tahri Joutei L. 2007. Species dominance and permanence of *Gymnodinium catenatum* GRAHAM blooms on the Western Mediterranean coast of Morocco (1994-2004). First IOC/HANA Workshop on Harmful Algal Blooms in North Africa, Casablanca, Morocco, 18 – 20 october 2007.

VUKADIN, I., I. MARASOVIĆ, T. PUCHER-PETKOVIĆ & L. STOJANOSKI. 1996. Nutrient enrichment and biological response in the Adriatic coastal Sea. *Fresenius Environ. Bull.*, 5: 221-228.

Wetzel, R.G. 2001. *Limnology*, 3<sup>rd</sup> edition. Academic Press, New York, USA.