

LA POLUCION MARINA EN LA COSTA VASCA

M.^a DOLORES SAN MILLÁN

INTRODUCCION

En el cénit de la revolución industrial ya iniciada en el pasado siglo, comienza a surgir cada vez con más fuerza, un nuevo concepto que se va popularizando a través de los medios de comunicación social a partir de la década de los 60. Se trata de la contaminación.

Según el Diccionario de la Real Academia, «Contaminar es alterar la pureza de alguna cosa, como los alimentos, el agua, el aire o el suelo», es decir, alterar o degradar lo que nos rodea, nuestro medio ambiente. Pero el hombre ha intervenido sobre su medio desde tiempos remotos, alterándolo según sus posibilidades.

Si la historia de la degradación es tan larga, ¿por qué el movimiento ambiental no emerge hasta la década de los 60? Podemos afirmar que la visión egocéntrica del hombre, que relaciona la degradación ambiental con su calidad de vida, frena el desarrollo científico de la lucha contra la contaminación. Pero cuando este deterioro del medio culmina con graves problemas psicológicos, sanitarios, económicos o políticos y el hombre se convierte en agente y paciente de dicho deterioro, comienza a preocuparse y toma conciencia de los efectos catastróficos a corto y largo plazo de una progresiva contaminación, así como de sus implicaciones ecológicas y sociales.

Pero, ¿será posible evitar futuras contaminaciones o paliar las consecuencias de los vertidos terrestres, acuáticos o a la atmósfera realizados hasta ahora? ¿Por qué seguimos introduciendo en nuestra sociedad de consumo sustancias químicas, aditivos o procesos industriales con mayor celeridad que la permitida para desarrollar estudios encaminados a determinar su grado de toxicidad o sus implicaciones ecológicas? ¿Debemos sacrificar el desarrollo industrial por un nuevo ambiente no alterado?

Los avances tecnológicos de la especie humana han ido siempre por delante de sus conocimientos sobre el medio en el que vive. Una recuperación del entorno no excluye al desarrollo industrial, más bien deberían ir acordes, analizando las medidas oportunas para evitar cualquier riesgo grave para el ecosistema y desarrollando nuevos métodos para el reciclaje de los contaminantes propios de nuestra tecnología.

La contaminación no es privativa de los países desarrollados, ya que el agua y la atmósfera están sujetas a circulaciones que arrastran los contaminantes de unas zonas a otras. Así pues, el País Vasco se encuentra dentro del contexto de la problemática global, pero, por otra parte, la alteración de su medio es acusada al ser una zona fuertemente industrializada. Aunque la contaminación atmosférica llega a ser un problema grave en el Gran Bilbao y ha sido tratada en numerosas reuniones y publicaciones, la contaminación marina ha quedado relegada a un segundo plano y no se le ha dado la importancia que su deterioro puede causarnos.

El mar ha sido y sigue siendo considerado, en muchos casos, como el gran basurero de la Humanidad. A él van a parar, además de los contaminantes terrestres vertidos directamente por las ciudades costeras o los que llegan del interior por los ríos y colectores a través de la línea de costa, aquellos otros derivados del transporte o de la exploración y explotación de los recursos marinos.

La contaminación del mar ha sido definida por las Naciones Unidas como «La introducción por el hombre, en forma directa o indirecta, de sustancias o energía en el medio marino (incluidos los estuarios), con efectos tan perjudiciales que dañan a los recursos vivos, constituyen un peligro para la salud humana, crean impedimentos para las actividades que se desarrollan en los mares (entre ellas la pesca), van en detrimento de la calidad del agua de los mares y de la utilización de ese agua y reducen las posibilidades de esparcimiento».

A pesar de que la alteración del ecosistema marino afecta al posible empleo del océano en todo el mundo, no se le concedió mayor importancia hasta que en 1953 apareció la enfermedad de Minamata y la Humanidad intuyó trágicamente que una irracional política de vertidos industriales sin previo tratamiento al mar, podría acarrear su propia destrucción. Con todo ello, existe un gran vacío en el estudio de la contaminación del mar, pues además de los numerosos factores abióticos y bióticos (TABLA 1) que llegan hasta él y pueden contaminarlo, son numerosas las vías por las que llegan al medio marino y numerosos intereses económicos, políticos y sociológicos que obstaculizan la investigación e información sobre dicho tema.

TABLA 1

Clasificación de los contaminantes según su naturaleza

Contaminantes abióticos.

Agentes químicos.

Inorgánicos. Metales pesados

Residuos radiactivos

Fosfatos y Nitratos

Orgánicos. Hidrocarburos

Materia orgánica

Detergentes e insecticidas

Agentes físicos. Polución térmica

Disminución de luz

Contaminantes bióticos.

Bacterias

Virus

Hongos

Trataremos a continuación de los contaminantes más frecuentes en el País Vasco o de aquellos otros que podrían presentar un peligro potencial a medio o largo plazo.

METALES PESADOS

Los metales pesados son en la actualidad los elementos potencialmente más peligrosos para el hombre, ya que son producidos en numerosos procesos industriales y se acumulan en la cadena trófica (TABLA 2). Entre ellos citaremos el Mercurio, Cadmio y Plomo, ciñéndonos a su presencia en el mar aunque se encuentren trazas en todos los medios (TABLA 3).

TABLA 2

Concentración de Mercurio en la Cadena Trófica

Valor mínimo (en ppm) Valor máximo (en ppm)

	0,0000005 (Atlántico Norte)	0,036 (Bahía Minamata)
Agua de mar		
Fitoplancton	0,029	0,015
Zooplancton	0,002	0,168
Anchoa	0,011	0,023
Caballa	0,015	0,16
Bonito	0,1	0,9
Atún	0,15	1,7
Mamífero marino	0,16	387
Sedimentos	0,001	17,4

Todos los valores menos para el agua de mar van referidos en ppm sobre peso seco.

ppm = partes por millón.

TABLA 3

Concentraciones de Mercurio, Cadmio y Plomo en diferentes medios

CONCENTRACIONES	Mercurio	Cadmio	Plomo
En el aire	1,0 -10 $\mu\text{g./m.}$	0,9 -15 pg./m.	0,01-0,3 pg./m.
Agua fluvial	0,01- 1 $\mu\text{g./l.}$	6 -20 $\mu\text{g./l.}$	0,5 -6 $\mu\text{g./l.}$
Agua de mar	0,03- 0,1 $\mu\text{g./l.}$	0,03- 3 $\mu\text{g./l.}$	0,04- 1 $\mu\text{g./l.}$
En el suelo	0,01- 0,15 mg./kg.	—	0,05-0,5 mg./kg.

1 = litro; 1 kilogramo = 1.000 g. ; 1 gramo = 1.000 mg. ; 1 miligramo = 1.000 $\mu\text{g.}$

Mercurio

La contaminación del mar y especialmente de algunos grandes peces (atún y pez espada) por el Mercurio y sus derivados es uno de los temas que han atraído la atención de oceanógrafos, médicos, pescadores y medios de comunicación social desde 1959 debido a su alta toxicidad.

Todo empezó en un pequeño pueblo de Japón, Minamata, asentado en la bahía del mismo nombre. Lo que en un principio fue un suicidio masivo de gatos, observado con curiosidad por los 50.000 habitantes de este pueblo pesquero, se transformó más tarde en una terrible enfermedad que provocó en muchos casos la muerte y en otros daños neurológicos irreversibles en las familias de pescadores cuya alimentación básica era el pescado y marisco capturado en la propia bahía. Se le da el nombre de «Enfermedad de Minamata» y a partir de este momento científicos de todo el mundo se vuelcan en el problema para encontrar el agente causante del mal y paliar sus consecuencias.

Se tardará seis años en encontrarlo, en 1959, el departamento médico de la Universidad de Kumamoto anuncia su conclusión final: Un compuesto orgánico del mercurio presente en los productos del mar es el causante de la enfermedad.

Diez años después de los primeros síntomas aparecidos en la población, se identifica el causante de la contaminación como un derivado orgánico del mercurio: el metil mercurio. La fuente contaminadora resultó ser una industria, asentada en la propia bahía, que producía resina de PVC (cloruro de polivinilo) y Dioctil ftalato (DOP) utilizando cloruro mercúrico y sulfato mercúrico como catalizadores. Aunque la empresa alegó que en su vertido figuraba únicamente mercurio inorgánico, y tras una larga batalla judicial, se le obligó a instalar una planta de tratamiento. Los envenenamientos cesaron, pero para entonces ya se habían declarado 121 casos y habían fallecido 54 personas.

¿Cómo se convertía el mercurio en metil mercurio? En 1968, un equipo de investigadores, en Illinois, descubría que ciertas bacterias eran capaces de fabricar metil mercurio a partir de mercurio inorgánico en un medio acuoso. Estos microorganismos pueden ser agrupados en tres categorías, según su necesidad de Oxígeno: los aerobios, o sea los que degradan los compuestos por oxidación tales como *Pseudomonas fluorescens*, *Klebsiella pneumoniae*, *Bacillus megaterium* y *Escherichia coli*; los anaerobios estrictos, que degradan por reducción como *Clostridium cochlearum*, y los anaerobios facultativos que pueden realizarlo por oxidación o por reducción, entre los que se encuentran *Klebsiella pneumoniae* y *E. coli*. Por ello, un vertido industrial cuyo afluente lleve mercurio inorgánico será mucho más peligroso cuando se realice simultáneamente con uno urbano de aguas fecales, hecho que por desgracia es muy frecuente en nuestro País.

Después de Minamata, todos los esfuerzos derivaron en comprender la razón de la toxicidad del metil mercurio en el sistema nervioso central. Es

posible que el metil mercurio reaccione con los grupos sulfidrilos para inactivar un cierto número de enzimas indispensables para la célula nerviosa, que podría entrañar la muerte de la célula por lisis de la membrana. Se ha demostrado que el metil mercurio inhibe la adenil-ciclase, enzima que juega un papel importante en la regulación metabólica al controlar la tasa de glucosa sanguínea. Por otra parte, reacciona con el grupo de fosfolípidos, propios de la membrana celular nerviosa, denominados plasmalógenos, catalizando la hidratación e hidrólisis de estos lípidos y liberando aldehídos esteáricos y palmíticos de largas cadenas. Los aldehídos pueden ser tóxicos por sí mismos, pero de todas formas, su liberación debilita sin ninguna duda la estructura de la membrana y favorece la lisis celular.

¿Existe algún mecanismo de defensa para contrarrestar la acción tóxica del mercurio? Se ha visto cómo la adición en la dieta de Selenio disminuye la toxicidad del metil mercurio. El Selenio es un elemento tóxico que a dosis relativamente bajas es letal para los organismos superiores. Sin embargo reacciona con el metil mercurio y produce dimetil selenio que es liberado rápidamente en los mamíferos por vía respiratoria.

Después de Minamata, intoxicaciones graves por compuestos orgánicos mercuriales tuvieron lugar en Niigata, Omata y Oyabe Rivers en Japón, en Guatemala y México, en diferentes zonas de Pakistán y más recientemente en Irak donde se produjeron más de 400 muertos debido a la proliferación de fungicidas mercuriales altamente tóxicos (FIGURA 1). Y es que son numerosas las fuentes de contaminación por mercurio ya que este metal presenta un amplio abanico de utilidades entre las que destacamos:

a) Industrias de electrolisis, donde el mercurio es utilizado como cátodo móvil para la producción de hidróxido de sodio y de cloro por electrolisis del Clorato de sodio. Generalmente el mercurio es reciclado, pero se pierden cantidades importantes.

b) En la fabricación de aparatos eléctricos de control como baterías, pilas de óxido-mercurio, termómetros, barómetros, etc. Como ejemplo, en la ruptura de termómetros médicos para hospitales, en Canadá, se pierden por término medio unas 6Tm./año de mercurio.

c) Además el mercurio entra a formar parte de pinturas antifungicidas, en amalgamas utilizadas en ortodoncia, en algunos derivados farmacéuticos tales como diuréticos, antisépticos, purgativos o drogas para el tratamiento del infarto de miocardio.

d) Utilizado también en la industria de fabricación de papel con el fin de preservar la pulpa húmeda de la biodegradación bacteriana o fungicida.

e) En agricultura, entrando a formar parte de herbicidas y fungicidas.

f) En explosivos, cuya fabricación utiliza mercurio, o en la purificación electrolítica de ciertos residuos nucleares.

Por lo que no es extraño el hallazgo que realizaron los científicos suecos que al analizar tejidos de aves conservadas en los Museos de su país,

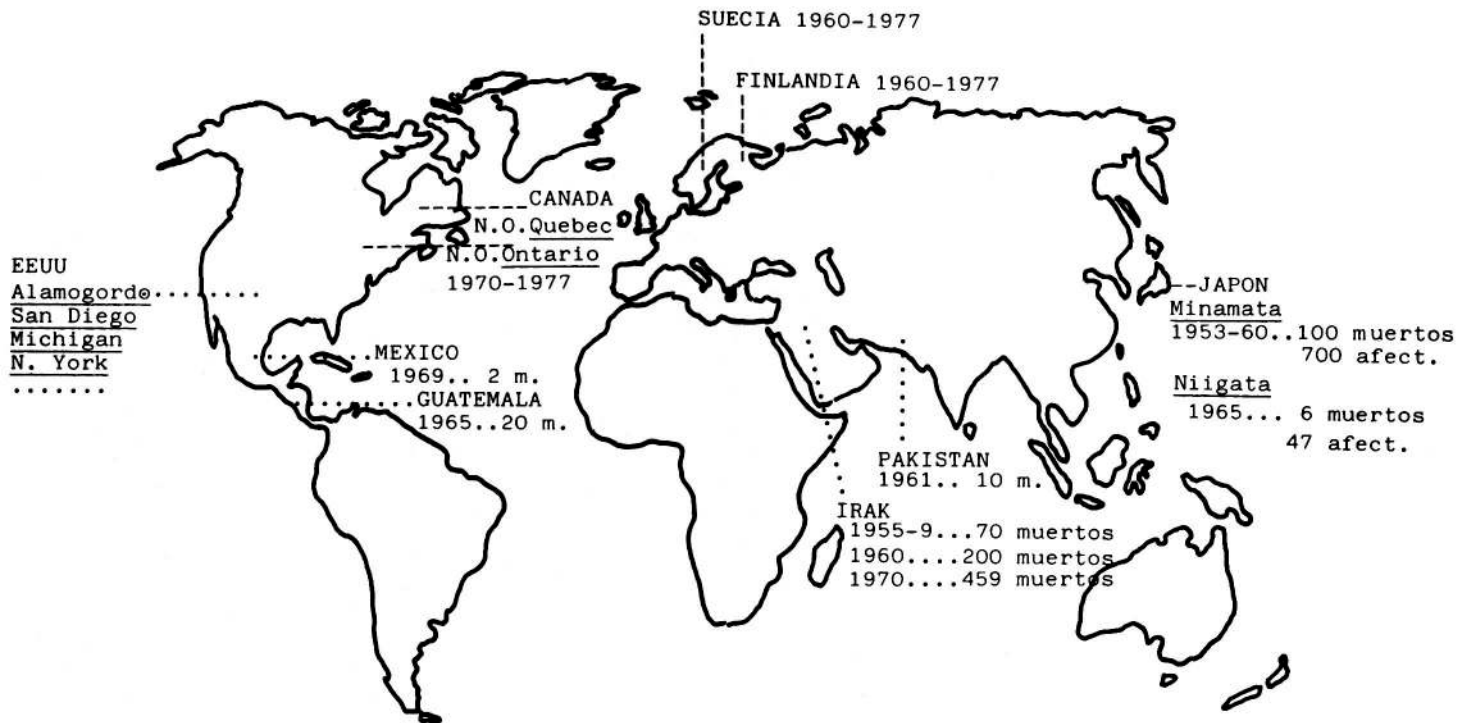


FIGURA 1: CONTAMINACION DE METIL MERCURIO EN LA CADENA TROFICA
 ----- Producida por consumo de peces
 Producida por consumo de semillas tratadas

observaron que la cantidad de mercurio permanecía constante en las aves recogidas entre 1840 y 1940, pero a partir de este año sufría un notable incremento, lo que coincidía con el uso de metil mercurio como desinfectante.

Sin embargo todos los datos disponibles sobre aguas marinas, sedimentos y organismos planctónicos indican que los niveles de mercurio en alta mar son relativamente bajos (más elevados en aguas profundas que en las superficiales) y que la contaminación por mercurio parece estar reducida a las zonas costeras, especialmente los estuarios.

Existen dos procesos que conducen a una disminución del mercurio contenido en el efluente que llega al mar. Por una parte es absorbido por la materia orgánica mientras que otra parte es concentrada directamente por los organismos. Estos pueden asimilar directamente de las aguas las formas inorgánicas de mercurio, pero la mayor parte proviene de la forma metil mercurio elaborada bacteriológicamente a nivel del sedimento. Por ello, el mercurio retenido en los tejidos de los peces está en su mayor parte bajo la forma de metil mercurio, aunque en general, los altos niveles entre 0,5 y 1 ppm (partes por millón) encontrado por especies situadas en los últimos eslabones de la cadena alimenticia, tales como el pez espada, atún o mamíferos marinos y aves, no pueden ser atribuidos directamente a las actividades humanas, excepto en animales que viven cerca de una fuente de contaminación o que se acercan a ella periódicamente.

Cadmio

Después del Mercurio, el Cadmio es considerado como el metal más tóxico tras los dramáticos acontecimientos ocurridos en la bahía de Toyama (Japón) donde súbitamente apareció otra misteriosa enfermedad denominada «Itai-Itai» entre sus habitantes cuya alimentación se basaba igualmente en el pescado y marisco recogido en la bahía. Los enfermos sufrían un fuerte dolor en los huesos y un movimiento muscular anómalo como resultado de la hiperexcitabilidad del sistema nervioso y muscular. Hasta el año 1972 se habían producido más de 125 casos de intoxicación y 40 muertos. Fue la primera alerta sobre este peligroso metal que tarda más de 30 años en ser eliminado del cuerpo humano.

El Cadmio se utiliza en:

- a) La fabricación de piezas metálicas y su protección por depósito electrolítico.
- b) La preparación de amalgamas.
- c) Fabricación de acumuladores y baterías.
- d) Sus sales minerales son utilizadas como pigmentos para pinturas.
- e) Para la fabricación de productos utilizados en agricultura y como conservador y protector de semillas.

Conforme vamos ascendiendo en la cadena trófica los niveles de cadmio aumentan aunque las algas macrofitas y los moluscos son las especies acumuladoras por excelencia, pero al igual que el mercurio, puede ser fijado por las partículas en suspensión y arrastrado al fondo del mar, encontrando mayor concentración en el sedimento que en el agua misma.

Plomo

El Plomo entra en el medio marino a través de las aguas de vertido y de la atmósfera, principal vehículo de transporte de este metal. En la actualidad, el plomo que llega al mar por actividades humanas ha superado las entradas producidas por procesos naturales, pues se estima que de las 400.000 Tm./año que entran en ese medio, más de 150.000 Tm. son de origen industrial, siendo transportado como aerosol.

El origen de la contaminación humana del plomo es variado, pues se utiliza para la fabricación de tuberías, acumuladores, baterías, pinturas, preparación de aleaciones y como aditivo de la gasolina para aumentar su eficiencia.

Los resultados obtenidos en diferentes análisis señalan, que a diferencia del mercurio y cadmio, el plomo no se concentra a través de la cadena trófica, pues su concentración decrece en el paso de un nivel trófico a otro superior, hallando una cantidad mayor en el Fitoplancton que en la carne de los animales superiores. Parece ser que este metal se concentra preferentemente en las algas macrofitas costeras y en moluscos fitófagos y sus depredadores.

Las partículas de materia orgánica en suspensión y los organismos autótrofos fijan las formas solubles del plomo y su emigración hacia el fondo marino se efectuaría de esta forma, en particular en zonas donde las aguas son muy productivas (fuerte actividad fotosintética) y la sedimentación importante.

Han sido señalados algunos de los efectos que produce el plomo sobre los organismos marinos que soportan elevadas concentraciones. Se ha encontrado que a dosis elevada se altera el mecanismo de la fotosíntesis de numerosas especies macrofitas infralitorales, así como alteraciones en el desarrollo de las larvas de ostras.

Situación de la contaminación por metales pesados en el País Vasco

Ya hemos señalado anteriormente que el peligro de contaminación por metales pesados, principalmente por mercurio y cadmio, radica en su acumulación a lo largo de la cadena trófica (TABLA 3).

Por esta razón, para detectarlos no se recurre al agua de mar, donde existen en pequeña cantidad, sino a algas macrofitas o a especies marinas

bentónicas filtradoras, que por las características de su hábitat, y alimentación, reflejan fielmente la calidad del agua que les rodea.

El primer intento de analizar la concentración de Mercurio en el País Vasco fue realizado por HERNANDO et al. (1979), eligiendo el mejillón (*Mytilus edulis*) como especie bentónica indicadora por las siguientes características:

1.—De ser una especie rara en el año 1935, hoy abunda en toda la costa gracias a un aporte masivo de materia orgánica que le sirve de alimento.

2.—Permite establecer comparaciones con los valores observados por otros autores en diferentes zonas contaminadas del Atlántico y del Mediterráneo.

3.—Porque, a pesar de que los sedimentos tienen una gran afinidad por el mercurio y el metil mercurio, las dificultades aparecidas en la toma de muestras hicieron desistir por el momento el realizar este tipo de estudio.

Las conclusiones, en líneas generales fueron: Se puede deducir que se acumula mayor cantidad de mercurio en los especímenes de mejillón de mayor tamaño, aunque se presentan excepciones a nivel local en cuanto que mejillones adultos que viven en grietas muy angostas, queda limitado su crecimiento, pero la filtración que realiza puede ser similar a la de los de mayor tamaño.

En zonas aparentemente polucionadas como Pasajes o la desembocadura del Oria, el contenido de Mercurio es del orden de 0,20 ppm sobre peso fresco, mientras que en zonas aparentemente más limpias como la desembocadura del Bidasoa y del Urumea, estos valores se duplican.

Esto podría ser debido a que la materia orgánica y en especial los derivados de las industrias papeleras quelatan de alguna manera los metales pesados tales como el Mercurio que sedimentan en el lecho del río y en las desembocaduras, mientras que en donde se ha producido una depuración de ligninas estos metales son más fácilmente incorporados a la cadena trófica del mejillón.

Recientemente, autores japoneses como TATSUYAMA y otros han observado este fenómeno de eliminación de metales pesados cadmio, cobre, mercurio y plomo por productos derivados de la industria papelera e incluso en ciertos casos se empieza a contrarrestar la polución debida a metales pesados utilizando este tipo de sustancias.

Después de esta primera aproximación al extenso campo de los metales pesados, NAHLE & IBANEZ (1981), HERNANDO et al. (1982), VALENCIA & IBANEZ, abordaron un estudio más amplio, donde se analiza la concentración de Mercurio, Cadmio, Cobre, Cromo, Plomo y Níquel, en el alga macrófita *Fucus spiralis* y en lapas. La primera especie, aunque no se encuentra muy representada en el País Vasco dadas las especiales condiciones térmicas del agua de mar, se hallaba dispersa en el Puerto de Bilbao y abundante en la desembocadura del Bidasoa, frente a la Isla de los Faisanes

(Behobia). Se consideró interesante analizarla por una parte para establecer los valores que podríamos tener en estas zonas y por otra para comparar dichas concentraciones con las existentes en otros lugares europeos.

En cuanto a las lapas solamente señalar, que pese a las dificultades en la clasificación y separación de las cuatro especies existentes, es un animal que vive adherido a las rocas donde se alimenta de pequeñas algas, contaminadas o no, y que se encuentra ampliamente distribuida a lo largo de toda la costa, excepto en lugares muy contaminados como la bahía de Pasajes y el Puerto de Bilbao.

Los resultados obtenidos señalan que para el mercurio en lapas, la ordenación geográfica coincide aproximadamente con lo observado por HERNANDO et al. en el mejillón. Tanto en el alga macrofita como en lapas, los valores se sitúan en un rango normal con concentraciones relativamente bajas si las comparamos con los datos encontrados en lugares muy polucionados (Canal de Bristol).

En cuanto al Cadmio (FIGURA 2) los valores son también bajos en todo el País Vasco, excepto en zonas concretas como Zumaya, Baquio y zonas limítrofes con Bilbao, encontrándose en Sopelana la máxima concentración. Resulta extraño encontrar en Baquio estos valores, dado que es una zona no industrializada, considerada como área de reposo y descongestión del Gran Bilbao, siendo el sector agrícola la principal actividad económica de la población trabajadora.

La contaminación por Cobre (FIGURA 3) es baja y bastante uniforme en todas las zonas costeras, pero alcanza valores importantes en los alrededores del Gran Bilbao al estar fuertemente industrializados.

El Cromo se distribuye bastante regularmente y con valores bajos por todo el País Vasco desde Fuenterrabía hasta Bilbao (FIGURA 4), pero en Pasajes su concentración alcanza una alta cota.

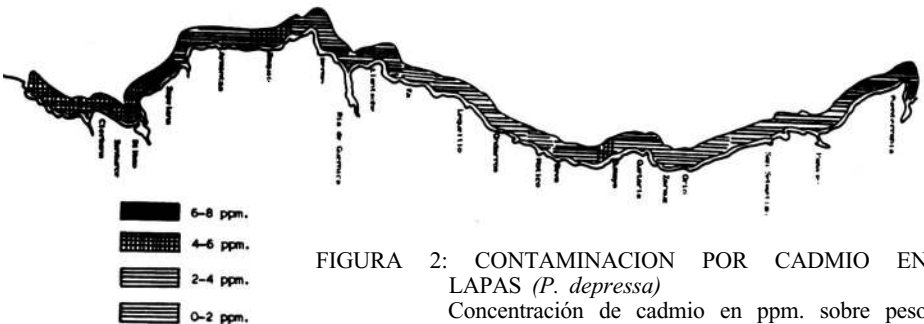


FIGURA 2: CONTAMINACION POR CADMIO EN LAPAS (*P. depressa*)
 Concentración de cadmio en ppm. sobre peso seco.

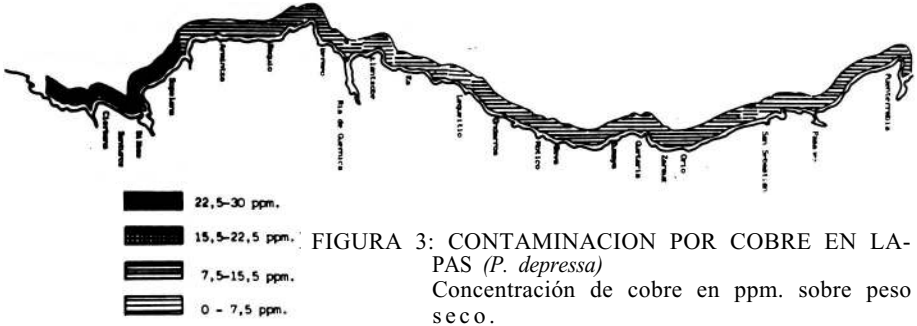


FIGURA 3: CONTAMINACION POR COBRE EN LAPAS (*P. depressa*)
Concentración de cobre en ppm. sobre peso seco.

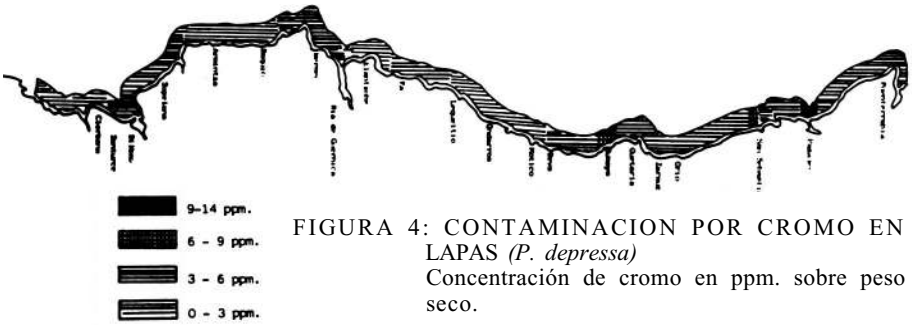


FIGURA 4: CONTAMINACION POR CROMO EN LAPAS (*P. depressa*)
Concentración de cromo en ppm. sobre peso seco.

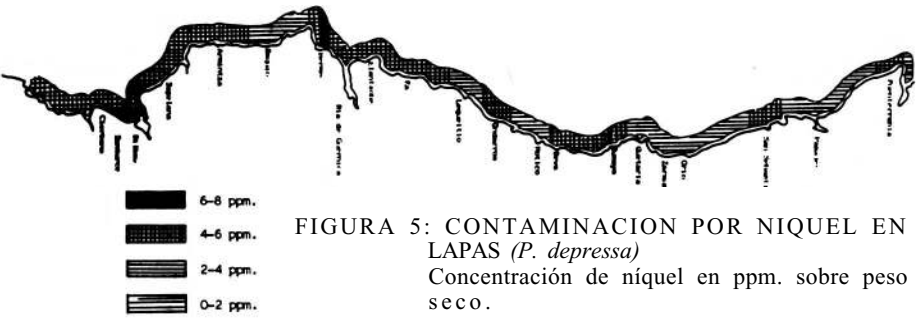


FIGURA 5: CONTAMINACION POR NIQUEL EN LAPAS (*P. depressa*)
Concentración de níquel en ppm. sobre peso seco.

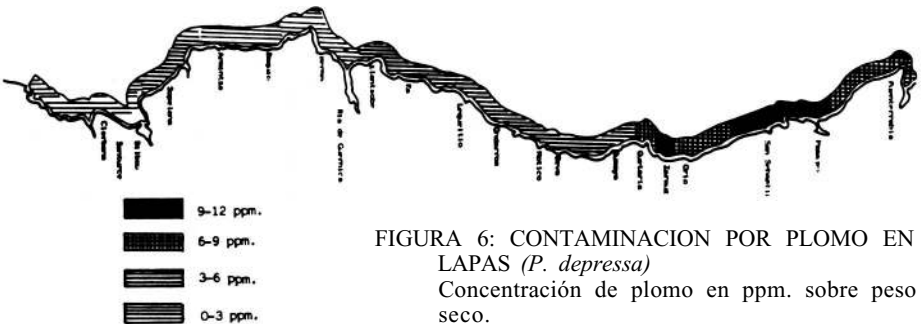


FIGURA 6: CONTAMINACION POR PLOMO EN LAPAS (*P. depressa*)
Concentración de plomo en ppm. sobre peso seco.

Analizando la concentración de Plomo se observa cómo los valores en *Fucus spiralis* son más elevados en Bilbao que en Behobia y muy superiores a los hallados en el Canal de Bristol y en algunas zonas de Gran Bretaña. Cabe pensar, según esto, que quizás su origen sea la contaminación atmosférica más que efluentes industriales. El segundo análisis realizado en lapas (FIGURA 5) presenta unos valores muy altos en aquellas zonas de la costa paralelas a la autopista Bilbao-Behobia, disminuyendo en cuanto ésta transcurre por el interior. Este segundo análisis apoyaría la idea de que la contaminación marina por plomo se realiza a través de la atmósfera y es muy acusada en aquellas zonas costeras próximas a lugares urbanos fuertemente polucionados por humos industriales o con un tráfico de vehículos importante.

Los valores obtenidos para el Níquel son relativamente elevados a lo largo de toda la costa, aunque no podemos señalar los efectos que este metal puede producir en la biota marina o en el hombre dado la escasa bibliografía que existe sobre este contaminante.

En conjunto, podríamos señalar que en la provincia de Guipúzcoa, la contaminación por metales pesados, a excepción del Níquel, que se encuentra ampliamente distribuido, aumenta hacia el Este, mientras que dentro de la costa vizcaína la tendencia observada es hacia el Oeste. Dichas tendencias podrían estar relacionadas por una mayor densidad de vertidos industriales al mar en esas zonas geográficas y por el régimen hidrodinámico de las corrientes superficiales observado por IBAÑEZ (1979).

¿Cómo es posible que los animales vivan en zonas fuertemente contaminadas y no sufran las consecuencias de las dosis elevadas de metales pesados? Afortunadamente, aunque estos elementos pesados son acumulativos, los organismos pueden también eliminarlos aunque el período de semieliminación sea muy variable dependiendo del individuo de que se trate o de la forma en que se haya acumulado.

Otro mecanismo de defensa frente al mercurio y al cadmio es la formación de una proteína, la metalotioneína (descubierta en 1957), con gran avidéz por estos metales e impidiendo que actúen a nivel enzimático distorsionando el metabolismo celular. Gracias a la existencia de esta proteína el animal puede sobrevivir en ambientes fuertemente polucionados, pero a su vez tiene un peligroso efecto para el hombre dado que posibilita una mayor acumulación de estos elementos en los animales marinos que pueden ser consumidos por el hombre.

Después de todo lo expuesto, se comprende que en el estudio de los metales pesados desde los ciclos geoquímicos hasta los biológicos, su acumulación en la materia viva, los efectos que producen y su repercusión sanitaria, deberían intervenir varias disciplinas científicas: Geoquímica, Bioquímica, Microbiología, Toxicología y Patología entre otras. Las investigaciones e investigadores deberán relacionarse entre si y sólo así el problema de los metales pesados será abordado en su conjunto, pudiéndose prevenir futuros accidentes.

RESIDUOS RADIACTIVOS

El origen de los isótopos radiactivos en los océanos puede ser natural y artificial. En el primer caso dichos isótopos son tan antiguos como la misma Tierra y fueron más abundantes en épocas pretéritas con excepción del ^{40}K y ^{87}Rb . Trataremos a continuación de la radiactividad producida artificialmente.

Los radionúclidos artificiales son los producidos por el hombre. Aparecieron como contaminantes del medio marino durante y después de la segunda guerra mundial como consecuencia del uso y pruebas de armas nucleares. Hoy día, los elementos radiactivos penetran en el mar por cuatro fuentes principales: precipitación radiactiva por pruebas de armas nucleares, descargas desde plantas productoras o procesadoras de combustible nuclear y derrames de barcos con propulsión nuclear.

La producción de energía nucleoelectrónica y la investigación, desarrollo, producción y utilización de isótopos radiactivos con fines industriales y clínicos se están convirtiendo en importantes fuentes productoras de desechos radiactivos. Aunque puede afirmarse que ninguna otra industria ha procedido con tanto cuidado con la evacuación de sus residuos como la nuclear, estando sometida a controles rigurosos en todo el Mundo.

El uso futuro de plantas de energía nuclear para desalinización en gran escala y el uso de explosiones nucleares para excavar canales y puertos pueden representar fuentes adicionales de radiactividad para el ecosistema marino.

Clasificación de los residuos radiactivos

Hacer una clasificación de los residuos radiactivos es una labor sumamente compleja puesto que su origen, tipo de radiación emitida, estado físico-químico, toxicidad o período de desintegración es muy variado. Pero casi todos los Países coinciden en una catalogación atendiendo a su estado físico, clasificándolos en residuos gaseosos, líquidos y sólidos. Los primeros pueden ser descargados directamente a la atmósfera cuando su radiactividad es baja o sufrir tratamientos secundarios antes de ser evacuados. Los residuos líquidos son también vertidos directamente al medio mediante una dilución controlada o sufren un tratamiento pudiendo necesitar el equipo de tratamiento de un blindaje radiológico.

En cuanto a los residuos sólidos, la clasificación es más complicada. Pueden ser filtros y piezas de equipo contaminadas o matrices sólidas, tales como cemento, asfalto o plásticos donde se han fijado residuos radiactivos líquidos o gaseosos para que puedan soportar un almacenamiento largo y seguro.

La acumulación de los productos resultantes de las reacciones nucleares está creando para la Humanidad presente y futura un progresivo aumento de

la radiactividad, con el agravante de que la actividad de estos cuerpos no puede eliminarse por procesos físicos o químicos sino solamente por el lento proceso de disminución de sus propiedades radiactivas. Son numerosas las formas de almacenamiento en espera que esto ocurra. Los residuos líquidos y cienos se transportan en vagones-cuba protegidos por plomo para evitar la acción nociva de las radiaciones. Estos residuos se llevan hasta grandes depósitos subterráneos rodeados de gruesas capas de hormigón pesado y refrigerados artificialmente para evitar el calor que produce la radiactividad. Por ejemplo, en Estados Unidos se están almacenando actualmente unos 300 millones de litros de cienos y soluciones radiactivas en 200 tanques subterráneos.

Otras veces, los residuos sólidos son almacenados en la misma fábrica, introducidos en recipientes de acero y en el interior de almacenes con gruesas paredes de cemento. Así es como operan algunas de las centrales más grandes de Europa como la de Windscale (Gran Bretaña), con una actividad acumulada de 250 millones de curios; o La Hague y Marcoule (Francia), con 50 millones de curios. Este tipo de almacenamiento necesita una vigilancia continua, y teniendo en cuenta que para que la actividad decrezca hasta niveles aceptables deberán pasar siglos, es evidente que no es la solución ideal.

Los residuos sólidos de baja actividad se pueden evacuar de diferentes formas, desde trincheras de pequeña profundidad o formaciones geológicas estables profundas hasta su inmersión en alta mar.

¿Cómo entran los residuos radiactivos en la mar?

1. Explosiones nucleares

La mayor parte de la radiactividad artificial existente hoy día en el mar es debida principalmente a la contaminación producida por explosiones nucleares en la atmósfera. Los radionúclidos formados penetran en la Troposfera y Estratosfera desde donde precipitan en forma de «fallout» sobre el océano de manera más o menos uniforme.

Los valores máximos de esta polución radiactiva en el mar y de los seres vivos que en él habitan se produjeron entre los años 1962 y 1963, cuando varios países experimentaron explosiones nucleares. A partir del Tratado de Prohibición de Pruebas Nucleares firmado en Moscú (1963) sobre limitación de estos experimentos, se observó una progresiva disminución del fallout radiactivo y un retorno a niveles más bajos de isótopos radiactivos en los animales marinos.

2. Vertidos de Centrales

En un segundo lugar habría que colocar los vertidos por los efluentes de las centrales nucleares que producen elementos radiactivos tales como ⁸⁵Kr,

^{90}Sr , ^{131}I , ^{140}Ba , ^{58}Co , ^{137}Cs , etc. El porcentaje de emisión de estos elementos varía mucho de unas centrales a otras e incluso en la misma central a lo largo del tiempo.

Los desechos radiactivos sólidos de actividad media o baja, convenientemente acondicionados, han sido evacuados al océano desde 1946. Durante este período inicial, la mayor parte del residuo fue colocado en tanques de unos 210 l. de capacidad, sin tapa muchos de ellos y lastrados suficientemente para asegurar su hundimiento en el Atlántico Norte. En diciembre de 1971 Estados Unidos desautorizó la eliminación en el mar de sus residuos radiactivos, disponiendo de lugares de eliminación en tierra. Sin embargo, desde el punto de vista internacional, el problema sigue en pie, pues numerosos países de gran densidad demográfica y con pocas posibilidades de organizar almacenes en zonas aisladas o geológicamente favorables, siguen eliminando residuos radiactivos al océano. Así, la central nuclear de Windscale (Gran Bretaña) descarga mensualmente en el Mar de Irlanda, a unos 3,2 km. de la costa, alrededor de 8.000 curies de productos de fisión. En 1969- 1971, el Organismo Europeo de Energía Nuclear (OEEEN) realizó dos vastas operaciones de eliminación en el Atlántico Norte, a 300 millas al NW de La Coruña y a 5.000 m. de profundidad, de 60.000 recipientes con un total de 30.000 Curios de actividad beta y gamma. (1 Curio es una cantidad de material radiactivo que produce $3,7 \times 10^{10}$ desintegraciones por segundo).

El Golfo de Vizcaya ha sido también testigo mudo en numerosas ocasiones de lanzamientos de bidones radiactivos en sus aguas. Se consideró que este diseño y la forma de presentarse los desechos evitaría la liberación de los isótopos durante un tiempo razonable que permitiera su transformación parcial en átomos estables del mismo u otro elemento. Este método aparentemente efectivo a corto plazo puede presentar problemas a medio y largo plazo y parece ser que en la actualidad muchos países procuran evitar los vertidos en el océano.

En un reciente trabajo, KAUTSKY (1977) encuentra en superficie, en alta mar, unos valores más altos de ^{137}Cs entre los paralelos 20 y 40°N, así como unos incrementos anormales en la radiactividad debida a este elemento en las aguas profundas (1.000 m. de profundidad) en el paralelo 70°N y entre el Golfo de Vizcaya y las Azores.

Ciclo bio-geológico de los radionúclidos

Cuando los elementos radiactivos entran a formar parte del Océano, comparten el destino de los elementos químicos no radiactivos que se encuentran en ese medio acuoso: serán dispersados, transportados y acumulados por los organismos.

La dispersión física se realiza desde su lugar de entrada en el Océano y puede ser horizontal y vertical. La primera se produce gracias a corrientes irregulares, pequeñas y costeras o a corrientes oceánicas de carácter general.

Estos movimientos del agua no se encuentran limitados a la superficie de los mares sino que también se producen en capas más profundas y pueden ir acompañados de afloramiento o hundimientos de elementos nutritivos.

El transporte biológico puede ser pasivo o activo, según que el radionúclido sea transportado por organismos que derivan con las corrientes o por los que se mueven activamente en el agua. Este último caso puede ser más importante en algunos lugares y para determinados isótopos que la dispersión física o hundimientos de partículas.

Efectos que producen los elementos radiactivos

Si los elementos radiactivos son peligrosos se debe a su acumulación biológica. Los organismos marinos se encuentran en equilibrio dinámico con el medio que habitan, produciéndose un intercambio metabólico entre el ser vivo y el agua de mar. Los radionúclidos participan por tanto en este intercambio cual elemento químico y por ello algunos elementos como el ¹³⁷Cs y el ⁹⁰Sr resultan particularmente peligrosos para el organismo dado que se comportan en forma similar al Potasio y Calcio, elementos indispensables para el ser vivo.

La regulación bioquímica del Cesio (y por tanto del isótopo ¹³⁷Cs) es llevada a cabo por los mecanismos de regulación del Potasio. Este Cesio se acumula preferentemente en los músculos (53%) y en la piel de los peces.

La acumulación depende de la edad y del estado fisiológico del organismo considerado. Así, la capacidad de fijación puede variar en los distintos estados larvarios de un organismo, de la concentración de otros elementos presentes en el agua de mar, del estado físico-químico del elemento que se analiza o de la presencia de sustancias quelantes.

Los efectos biológicos que dosis altas de radionúclidos producen en los organismos son de todos conocidos. Por una parte, están los efectos somáticos que se visualizan en el cuerpo de los organismos expuestos a ella, y por otra parte, más importante que la anterior, las alteraciones genéticas que se reflejan en los descendientes de las especies irradiadas.

Los efectos somáticos se traducen por un retraso en el crecimiento, vitalidad disminuida, longevidad prematura y tumores en la piel. El daño somático depende de la proporción de la dosis y no de la radiación acumulativa. Este daño somático producido a la vida marina bien por radiación artificial o natural es en la actualidad muy pequeño.

La alteración genética, más peligrosa y difícil de prevenir, afecta a las células reproductoras produciendo mutaciones a nivel de los cromosomas, irreversibles, que afectan a la descendencia. Las dosis que las producen son lo suficientemente bajas como para no evidenciar efectos nocivos en los organismos, de ahí su peligrosidad. Dada la alta tasa reproductora de la mayoría de las especies marinas, y a través de la selección natural, se pueden

mantener las poblaciones libres de formas aberrantes. A pesar de ello, las poblaciones pueden quedar disminuidas produciéndose desequilibrios ecológicos, y existe una transferencia de radionúclidos presentes en los organismos marinos hasta los eslabones finales de la cadena trófica cuyo zénit lo ocupa el hombre.

HIDROCARBUROS

De todos los contaminantes que afectan al medio acuático, los hidrocarburos y el petróleo son los que han despertado en la opinión pública una conciencia «antipolución», ya que por sus efectos destructivos sobre la fauna y la flora marinas así como sobre el paisaje costero fueron reconocidos desde 1953 como los más destructivos para la vida acuática.

Los hidrocarburos penetran en el medio marino por numerosas vías naturales o producidas por el transporte y utilización del crudo. Además de los escapes que pueden producirse en los yacimientos de petróleo submarinos a través de fallas en sus capas de cobertura, como sucede en la plataforma californiana, existen organismos marinos biosintetizadores de hidrocarburos que son liberados al medio por vía metabólica o por autólisis y descomposición del organismo muerto, aunque estos hidrocarburos no representan ningún tipo de contaminación.

La demanda mundial de petróleo, que aumenta cada año, agrava el problema, pues resulta virtualmente imposible evitar pérdidas en el ambiente por las múltiples etapas que atraviesa hasta su comercialización, desde el comienzo de la perforación del pozo, transporte marítimo y descarga hasta los humos producidos por coches y chimeneas.

Si de los hidrocarburos que entran al mar la tercera parte corresponde a las pérdidas ocasionadas en su transporte, no es menos cierto que el proceso de limpieza de los tanques contribuye con más del 50%

Pero lo que realmente llama la atención por su espectacularidad son las famosas «mareas negras» producidas por accidentes de petroleros. El primer gran desastre que alerta a la opinión pública mundial es el accidente del «Torrey Canion» el 18 de marzo de 1967. Los efectos inmediatos de esta contaminación fueron conocidos por todos: playas y zonas de baño quedaron inutilizadas, los animales costeros murieron y las aves marinas casi desaparecen, pues se calcula que más de 7.000 fueron recogidas con vida de las flotantes manchas de petróleo dejadas por el «Torrey Canion» y sólo sobrevivieron 100.

Después de este primer accidente, muchos otros se sumaron a la contaminación de las aguas con el consiguiente riesgo ecológico. Hoy día existen sofisticados métodos para paliar la contaminación que produce una marea negra, además de los consabidos dispersantes químicos, aunque parece ser que lo más efectivo para la biota costera es la mano de obra humana, es

decir personas que con un cubo y una pala vayan recogiendo las masas y pelotas de petróleo. Se ha observado que zonas tratadas con detergentes y «spráis» emulsionantes para facilitar la limpieza de las rocas perdieron su fauna y flora característica y la recuperación del ecosistema fue mucho más lenta que en aquellas otras en las que se había eliminado manualmente la mancha de petróleo.

Cuando se produce una marea negra, la mancha de petróleo se extiende rápida y circularmente cuando el mar está calmado. Pero no siempre ocurre así. Los accidentes son más corrientes cuando existe mala mar, y en este caso, por la acción de las olas se produce una emulsión del petróleo en agua que aumenta extraordinariamente su viscosidad y reduce la velocidad de propagación. También es importante la evaporación que sufre el crudo aunque depende del tipo que sea, de la temperatura y de las condiciones del viento y de las olas.

Se debe considerar igualmente la degradación biológica por las numerosas bacterias que son capaces de oxidar los productos petrolíferos, pero el régimen de destrucción varía con el número y tipo de microorganismo, con la disponibilidad de oxígeno y con la temperatura y forma de dispersión en el océano.

El grado de toxicidad de los distintos tipos de hidrocarburos sobre el hombre y sobre la biota marina ha sido investigado durante años. Tendríamos que destacar el efecto cancerígeno de la mayoría de los hidrocarburos, principalmente de los aromáticos de bajo peso molecular. El efecto tóxico se acentúa al acumularse estas sustancias en la cadena trófica de forma que la concentración en los animales marinos puede ser un millón de veces superior a la del agua de mar. Afortunadamente para el hombre, el sabor que el petróleo confiere a los productos del mar es tan desagradable y característico que inmediatamente se desecha cualquier producto marino que tenga este inconfundible sabor.

Si ya de por sí es triste que se produzca una marea negra más imperdonable es que estemos contaminando nuestros puertos y bahías con residuos de hidrocarburos vertidos al mar desde embarcaciones pesqueras, de carga o de simple recreo. Si analizamos la cantidad de hidrocarburos que existe en el Puerto de Pasajes por este hecho, nos encontraremos con valores que quintuplican la concentración hallada en un puerto tan importante como el de Cádiz y 30 veces mayor que la hallada en Castellón. Esta contaminación ha producido la desaparición de las formas típicas de vida bentónica siendo sustituidas por otras que podríamos denominar «oportunistas» que se desarrollan bien cuando no tienen competidores pero que en condiciones normales se encuentran presentes en pequeña cantidad. El número de especies diferentes que pueden proliferar en estos fondos de la Bahía de Pasajes, altamente contaminados por numerosos vertidos industriales, urbanos y por hidrocarburos, es bajo y por lo tanto la comunidad asentada tiene una diversidad baja, muy empobrecida, difícilmente recuperable.

Tanta importancia como los métodos de lucha tienen los de prevención. No olvidemos que el tráfico de crudos en el Puerto de Bilbao durante el año 1979 fue de 14 millones de Tm., y si no se adoptan medidas para proteger los recursos biológicos marinos contra esta contaminación, pueden causarse daños irreparables al ecosistema que se reflejaría desde nuestro punto de vista egocéntrico en una disminución de los productos del mar utilizados como alimento.

CONTAMINACION BIOTICA

La polución bacteriana del agua de mar es debida al aporte directo o a través de los ríos de las aguas residuales y domésticas de las ciudades. Se ha calculado que en una ciudad de 300.000 habitantes se vierte aproximadamente 1,5 m.³ de aguas residuales por segundo, con una carga bacteriana de 2 a 3 millones de gérmenes por cm.³.

Cuando estos gérmenes llegan al medio marino no mueren sino que se diluyen y permanecen en este medio durante un cierto tiempo, condicionado por la cantidad y calidad del alimento disponible. Por otra parte, el agua de mar posee una temperatura baja y una salinidad muy alta, condiciones poco favorables para el crecimiento bacteriano patógeno, pero numerosas publicaciones confirman que al menos permite una supervivencia larga de los microbios que conservan toda su virulencia. Por lo menos, el agua de mar no es un medio estéril para la vida bacteriana.

De las bacterias existentes se analiza *el Escherichia coli* como el germen indicador de contaminación de las aguas marinas destinadas al baño, por ser una bacteria típica del intestino de todos los animales de sangre caliente, incluido el hombre.

En la reunión de Bilthoven, convocada en octubre de 1974 por la Organización Mundial de la Salud, los distintos países de Europa aportaron sus criterios sobre los límites máximos permisibles de contaminación bacteriana para determinar si una zona litoral podía ser utilizada con fines recreativos. Se estableció por unanimidad el límite de 1.000 *Escherichia coli* por 100 ml. como el máximo aceptable para clasificar a una playa como zona adecuada para el baño, aunque se insistió que no debería considerarse insalubre ningún litoral a no ser que el microbismo de sus aguas produjera riesgos en la población que acude a sus playas. Pero es casi imposible determinar si un brote epidémico bacteriano ha sido producido por el baño, pues son muchos los factores que intervienen en las enfermedades bacterianas estivales y numerosos los datos que se escapan a los controles sanitarios. Por ello es interesante adoptar las medidas adecuadas sin esperar a que aparezcan los síntomas en la población, y conseguir un saneamiento total de las zonas utilizadas como baños.

En el País Vasco se realizan con frecuencia análisis bacteriológicos del agua de mar y de las arenas, sobre todo durante la época estival. Los

resultados obtenidos durante varios años, indican la existencia de puntos negros en la costa, muy contaminados, y donde existe un riesgo posible para aquellas personas que los utilicen como baños. Entre estas zonas destacaremos en Guipúzcoa la Bahía de Pasajes en toda su extensión (Embarcadero de San Juan, Roquetas, Puntas) considerada como zona altamente peligrosa, la playa de Gros (San Sebastián), la playa de Orizarzar (Orio), playa de Jesuitas (Guetaria), playa de Santiago (Zumaya), playa de Saturrarán (Motrico). Si analizamos despacio la situación de estas playas, nos damos cuenta de que todas ellas poseen en sus cercanías regatas que transportan aguas fecales y que muchas veces desembocan en la misma playa.

Aunque ya hemos señalado anteriormente que no existe una evidencia clara entre el baño en zonas contaminadas y la aparición de enfermedad, encuestas sanitarias realizadas entre los bañistas asiduos a dichas playas han revelado afecciones frecuentes de micosis, alergias variadas, diversos tipos de conjuntivitis, sinusitis, rinitis y diarreas.

CONCLUSION

Toda la vida terrestre depende de un sistema ecológico viable. El océano es decisivo para la supervivencia en cuanto que nos proporciona el agua, el oxígeno, regula el clima y de él obtenemos parte de nuestro alimento. El objetivo supremo de una política oceánica nacional o mundial debe ser la conservación del sistema ecológico. No debemos olvidar que la vida, hace muchos años surgió en el mar y si él muere, también la vida del planeta azul morirá con él.