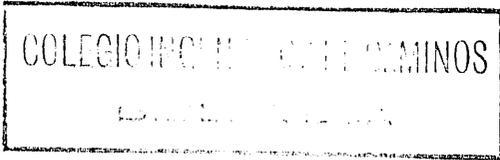


Vertidos en el mar^(*)



JOSE JAVIER DIEZ GONZALEZ
Ingeniero de Caminos, C. y P.
Farmacéutico.
Catedrático de Puertos de la Universidad Politécnica de Valencia.

ROSA MARIA PAZ DOEL
Doctora en Biología.
Prof. Adjunto de la Universidad Complutense.

La contaminación del mar producida por vertidos procedentes de la costa es un problema que adquiere cada vez mayor importancia. En el artículo se pasa revista a los parámetros generales de calidad de estas aguas, tratamientos, dispositivos de vertido y mecanismos de dilución de contaminantes.

I. INTRODUCCION

Desde siempre el mar viene siendo el gran recipiente que recoge los últimos residuos derivados de las actividades humanas. Ello es lógico, y casi completamente correcto, si se tiene en cuenta la capacidad gestora de las aguas marinas. Por su salinidad, su absorción de radiaciones solares, su dinámica turbulenta y su capacidad oxidativa y biológica, es el medio natural con mayores posibilidades de transformación de los vertidos, de forma que su acumulación no origine disfunciones en el macroecosistema general.

Siempre ha sido evidente que las repercusiones ambientales de un vertido disminuían si se realizaba en puntos a los que accediese la dinámica marina. Y así se presentaban como ventajosos los vertidos en rías y estuarios frente a los mismos en los ríos.

NOTA.—Recientemente se ha publicado un informe de la OECD sobre aprovechamiento de productos de desecho y subproductos en la construcción de carreteras, en el que tomó parte el autor de este trabajo.

(*) Se admiten comentarios sobre el presente artículo, que pueden remitirse a la Redacción de esta Revista, hasta el 31 de diciembre de 1979.

Por otra parte, no se puede decir que los productos de desecho de la actividad humana hayan presentado graves problemas hasta fechas relativamente recientes en que la convergencia de distintos factores de desarrollo, por otra parte ligados entre sí, ha desencadenado una producción de desechos, de un volumen tan crecido y con unas características tales de resistencia a la degradación, que ha llamado la atención de todos. Ciertamente el tema es preocupante y se realizan estudios para desarrollar las posibilidades de reciclar o reutilizar todos o la mayor parte de los productos de desecho y de los subproductos de explotaciones industriales de forma que, además, puedan ahorrarse energía y materias primas.

Sin embargo, conviene centrar el problema en sus justos términos. En el desarrollo de toda especie se han originado ciertas actividades sobre el medio que han traído como consecuencia modificaciones substanciales del ecosistema, gracias a las cuales, probablemente, se ha producido el proceso evolutivo que culmina en la aparición del hombre. Este proceso evolutivo, sin embargo, ha ido devorando a sus propias protagonistas debido a la incompatibilidad que se establece entre

la acción sobre el medio y la respuesta de éste. Pero el hombre por su capacidad reflexiva, es la primera especie capaz de reaccionar y remodelar el ecosistema por él modificado. El problema se plantea entonces cuando la sucesiva concatenación de acciones sobre el medio lleva a éste a una evolución degenerativa que pueda hacerse irreversible. Es entonces cuando el hombre corre el riesgo de caer en la misma trampa en que cayeron otras especies no "inteligentes". En este sentido, el desarrollo tecnológico, merced al cual la Humanidad ha adquirido un nivel, cualitativo y cuantitativo, extraordinario, ha traído consigo, por puro lucro privatizado, una perturbación creciente del medio en cuantía tal que amenaza la mencionada irreversibilidad.

En forma paralela se ha producido una evolución de los asentamientos poblacionales hacia las zonas litorales. Esta tendencia no es nueva puesto que en anteriores estadios del desarrollo humano la benignidad climática de tales zonas, la pesca y el comercio marítimo contribuyeron a su poblamiento diferencial positivo. La inseguridad de las épocas anárquicas —últimamente el Medioevo— había desplazado la tendencia en sentido opuesto. Esto ha originado

una cada vez mayor proporción de vertidos directamente en mares y océanos, en áreas abiertas o relativamente confinadas y, sobre todo, en esta últimas. Y se da la circunstancia de que en estas zonas litorales es donde se concentra la actividad de los ecosistemas marinos. Es así como en los dos últimos siglos, y con intensidad creciente, se están produciendo fuertes transformaciones en aquéllos. Porque no sólo se ha producido un incremento impresionante del volumen de vertidos, sino que la naturaleza de los mismos se ha modificado muy rápidamente, al ritmo de los desarrollos urbano e industrial.

Y entre las consecuencias que ya se están derivando de las modificaciones del ecosistema está la disminución del volumen de capturas por pesca en las inmediaciones a la costa, dicho esto como ejemplo de cómo se puede efectuar, incluso acabar, con uno de los posibles usos o actividades en un territorio. El problema de los vertidos en el mar, y de su modalidad y limitaciones está en íntima relación con el de la ordenación del territorio litoral, por tanto. En un primer análisis hay que discernir entre vertidos de naturaleza agropecuaria, industrial y urbana, considerar sus respectivos impactos y/o posibles tratamientos, y tener todo ello en cuenta a la hora de asignar los recursos territoriales en el plan de ordenación de todo un tramo litoral.

Quiero finalizar esta introducción recordando un fenómeno que se produce en estrecha relación biunívoca con todo lo anteriormente mencionado y que acentúa la problemática. Y es que se está produciendo una disminución progresiva de aguas "corrientes" desembocando en el mar, a la vez que se incrementan las aguas residuales que ocupan el lugar de aquéllas en los cauces fluviales. En última instancia todos los vertidos a

corrientes de agua alcanzan el mar, y de la capacidad asimiladora y rectificadora de éste depende el desarrollo equilibrado de nuestro "macroecosistema".

II. PLANTEAMIENTO GENERAL

En razón de las consideraciones mencionadas parece claro que no se puede nunca estudiar un vertido concreto como un problema aislado en un tramo costero. Si de verdad se quieren evitar las consecuencias negativas del mismo ha de estudiarse en el contexto y en relación con el problema más general de la ordenación del territorio. Desde esta perspectiva, pero centrándonos en el problema de los vertidos, el planteamiento del mismo debe contemplar los siguientes aspectos:

a) Se debe disponer de un *inventario* lo más completo posible de los tipos, naturaleza y características de los vertidos en el tramo litoral completo, ya existentes, y los previstos en función del tipo de asignación de recursos territoriales (por industrias, explotaciones y asentamientos urbanos) (*).

b) Definir los estándares admisibles de la cuenca receptora, sus características actuales y su capacidad asimiladora con

(*) Un adecuado inventario debe recoger no solamente los vertidos urbanos e industriales, sino también:

- Aguas residuales procedentes de las investigaciones petrolíferas y/o similares en la plataforma continental.
- Basuras sólidas y subproductos de explotaciones agrarias, industriales y mineras, y su tratamiento posterior, así como vertidos debidos a accidentes de explotación y de tráfico marítimo.
- Emisiones a la atmósfera de industrias y vehículos.
- Volumen de pesticidas y vertidos radiactivos.
- Productos de dragado.

especial referencia a su dinámica litoral y a su biocenosis.

c) Tener en consideración o elaborar los correspondientes planes de ordenación territorial.

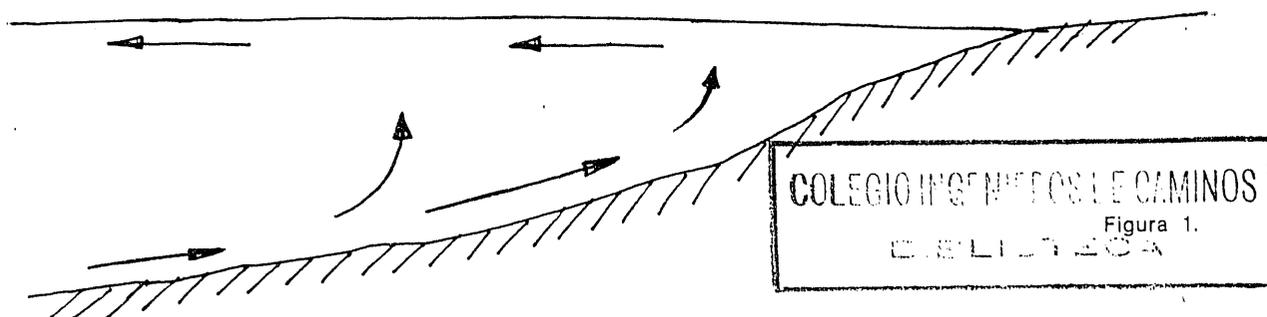
d) Establecer los criterios de vertido para los productos residuales que en concreto se estén considerando, teniendo en cuenta sus características y sus posibles tratamientos.

III. AREAS CONFINADAS Y MAR ABIERTO

Tradicionalmente los vertidos se han venido realizando en rías, estuarios y otras zonas costeras relativamente abrigadas donde era más fácil la ejecución del dispositivo de vertido. Como consecuencia de lo expuesto en el punto I estas zonas han llegado ya a la saturación de su capacidad receptaria. La instrucción española (B. O. E. del 25 de junio de 1977) las denomina zonas limitadas y las define no muy afortunadamente como aquellas en que "la renovación del agua es lenta y se manifiestan elevadas concentraciones de flora y fauna marinas". Sin duda su capacidad de "digestión" de vertidos es mayor que la fluvial próxima, cuando hay corrientes de marea. Pero es incuestionable que es menor que la que posee el mar abierto, y ya éste es incapaz de asimilar lo que le llega...

Tres son los tipos de mecanismos de los que se sirve la cuenca receptora para eliminar o reducir la concentración de los elementos nocivos que aportan las aguas de vertido. La dilución por mezclas de ambas aguas residuales y receptoras, la dispersión o difusión por transporte y la degradación, en los casos en que se produce, cuyas causas puede ser varias.

Por las características propias de las áreas confinadas —volumen relativamente limitado de



aguas receptoras, distribución peculiar de la salinidad con estratificación, menor o nula dinámica derivada del oleaje, prácticamente nulas corrientes oceánicas, aunque mayores corrientes de marea, y mayor nivel de actividad biológica— los mecanismos citados, salvo los derivados en su caso de la existencia de mareas, son menos eficaces que en mar abierto. Según Pearson (1974) la capacidad receptora de un estuario es función de la tasa de vertidos, de los flujos de las corrientes fluvial y de marea y del nivel de mezcla efectiva producida por la turbulencia derivada de la corriente de marea, y que es función de la relación entre el prisma de marea y las secciones transversales del estuario y del canal de comunicación con el mar. Las experimentaciones realizadas por Fisher en la Universidad de Berbeley en canal recto y uniforme y en canal natural, le han llevado a hacer depender el coeficiente de mezcla del número de Richardson para la diferencia de densidades entre las aguas vertidas y receptoras. Esta dependencia tiene, sin embargo, distinto signo en función del tipo de canal: en canal recto y sin rugosidad apreciable el coeficiente de mezcla es menor para mayores diferencias de densidades; en canal natural ocurre al contrario.

Pese a las dificultades que supone el muestreo, tanto en recintos naturales como en ca-

nales de laboratorio, como consecuencia de los movimientos verticales y horizontales de las aguas, y a las limitaciones que suponen los ensayos en modelo (océano esquematizado en dos capas y características dinámicas fijadas), Kamikowski (1976) ha podido confirmar que la onda de marea (concretamente la componente semidiurna) favorece la variabilidad biológica, sobre todo al fitoplankton móvil y al inmóvil que se halla sobre la termoclina, lo que puede justificar dos características de las áreas confinadas: mayores facilidades a la eutrofización y mayor capacidad degradativa de cierto tipo de contaminantes —orgánicos—.

Estudios realizados por Fisher en la bahía de San Francisco le permiten distinguir tres tipos de circulaciones en estuarios. La circulación gravitacional, debida a la diferencia de densidades de las aguas fluviales y marinas, y que consiste en una circulación casi plana, sin apenas mezcla y formando celdas mediante canales hacia arriba o laterales como indica la figura 1. En este caso, cuando la topografía lo permite (típicamente en fiordos) puede quedar estancada agua salina en el fondo. La circulación de marea y la de viento son los otros dos tipos de circulación de Fisher. La primera genera los canales de marea y los bajos en los que se puedan producir retenciones y depósitos de elementos contaminantes.

IV. PARAMETROS GENERALES

Son indicadores admitidos de la calidad de las aguas y sirven para estandarizar el control y las calidades umbrales de utilización de las mismas. El número de parámetros es muy extenso aunque en la mayoría de los casos particulares no haya necesidad de "hecho" de medir y controlar todos y cada uno. Por la misma razón, la lista general de parámetros ha de estar abierta a la adición de aquel que pueda delatar, en su caso, cada nueva modificación que se produzca en las características de las aguas marinas. En este sentido estos parámetros pueden emplearse y es especialmente útil el hacerlo, para caracterizar las aguas a verter, además de tomarse como caracterizadores de las aguas recipientarias y para definir los índices umbrales de calidad.

Agruparemos estos parámetros del siguiente modo:

- Sustancias flotantes —sólidos, líquidos o en emulsión— y sedimentables en suspensión.
- Caracteres organolépticos, turbidez, temperatura y gases en disolución (metano, sulfuros, etc.).
- Caracteres químicos: pH, índice de saturación en oxígeno, salinidad y composición de ésta.

- Materia orgánica indeseable y nutrientes (especialmente grave en estuarios y otros recintos limitados), como urea, amidas y aminoácidos, glucosas y otros sacáridos, etc., y, en concreto, el carbono orgánico total (COT) y el amonio, entre la materia orgánica, y nitratos, fosfatos, sulfatos, carbonatos, silicatos, calcio, magnesio, sodio y potasio entre los nutrientes. En este grupo conviene incluir los elementos *trazas* (oligoelementos) (hierro, manganeso, molibdeno y cobalto) y las vitaminas.
- Tóxicos, incluyendo los conservativos (no degradativos) y los no conservativos, como metales pesados (Hg, Cu, Cd, Cr, Ni, Pb, etc.), pesticidas (ácidos, lejías, disolventes orgánicos, etc.) y nivel de radiactividad, con indicación de su umbral letal y con su test de letalidad correspondiente.
- Organismos indeseables, como bacterias, algas, medusas, virus y otros que puedan establecerse. En este grupo se incluye el *E. Coli*, no por su nocividad, sino por representar un origen de contaminación fecal característica y nociva y ser de fácil determinación.

Respecto a la carencia de oxígeno conviene recordar alguna definición. La demanda bioquímica de oxígeno (DBO) se refiere a las necesidades para oxidación microbiana de la materia orgánica presente. La demanda química de oxígeno (DCO) mide las correspondientes a oxidación química de materia orgánica e inorgánica oxidable. La suma de ambas se llama demanda total de oxígeno (DTO).

Entre las partículas sólidas se

llaman sedimentables las que se depositan en una hora o menos en reposo; en suspensión las eliminables por filtros y en disolución los separables por evaporación. El resto son sustancias volátiles.

A la hora de señalar los estándares umbrales de estos parámetros hay que diferenciar según los empleos alternativos que se deseen potenciar o respetar. Se distinguen tres tipos fundamentales de empleo: Recreativo, con o sin contacto directo del cuerpo humano con las aguas, para cultivos marinos (particularmente marisqueros, pesqueros o de algas), y para usos urbanísticos. En la Instrucción española se dan los límites de los parámetros indicadores para varias zonas. Se considerarán como zonas especiales las confinadas, de acuerdo con sus particulares dificultades de mezcla, tal y como se ha expuesto. Los parámetros más comunes empleados, de entre todos los señalados, son el pH, las variaciones de temperatura y salinidad y las concentraciones en *E. Coli*, ión cloro (Cl^-), ión amonio (NH_4^+) o amoníaco (NH_3), en sólidos y en tóxicos de posible encuentro en la zona, en función de la naturaleza de los vertidos en la misma.

Para caracterizar las aguas a verter, operación fundamental para un completo abordaje del problema global causado por los vertidos, se deben emplear los mismos parámetros mencionados para las aguas receptoras si bien cada tipo de aguas sólo necesitará de la determinación de los valores de unas pocas de ellas. Es aconsejable distinguir los efluentes por su origen en urbanos, agropecuarios e industriales. Sin embargo, estos últimos son de una gran variabilidad y es prácticamente imposible el definirlos mediante unos valores medios de los parámetros. En la Instrucción española se caracterizan, mediante unos valores medios, los efluentes ur-

banos con aguas estrictamente de origen doméstico. Para los efluentes industriales se señalan los parámetros más frecuentes a título indicativo. En el mismo artículo (tercero) se clasifican las sustancias nocivas de los efluentes en dos clases, I y II, tratando de seguir unos criterios de persistencia (versus, degradabilidad), de toxicidad o análoga (V. neutralidad) y tendencia a la bioacumulación (V. transformabilidad o digestibilidad). Aunque en algunos casos la distinción es sólo un problema de grado y serían discutibles algunas inclusiones, se recomienda una lectura atenta de las listas de sustancias que se señalan y su consideración en cualquier estudio de vertidos. Un parámetro que hoy se emplea como índice del grado de perturbación causada por la concentración de metales pesados, en agua o en biomasa, es la relación de concentraciones cadmio - potasio.

En la Instrucción mencionada (*B. O. E.* de 25 de junio de 1977) se dice: 3.3.1. Clase I.—Sustancias que por su nocividad dan lugar a la adopción de medidas energéticas para evitar la contaminación del mar por las mismas.

La presencia de sustancias de esta clase en un efluente dará lugar a un estudio especial para determinar si debe prohibirse el vertido o si pueden reducirse la concentración y cantidad de dichas sustancias a límites en que no se produzca contaminación.

Las sustancias de esta clase son:

Compuestos orgánicos halogenados y otras sustancias que puedan formar tales compuestos en el medio marino, con excepción de aquellos que sean biológicamente inocuos o que se transformen rápidamente en el mar en sustancias biológicamente inocuas.

VERTIDOS EN EL MAR

Sustancias que tengan efectos cancerígenos.

Sustancias y desechos radioactivos.

Aceites e hidrocarburos persistentes de origen petrolífero.

Mercurio y sus compuestos.

Cambio (quiere decir Cadmio, Cd) y sus compuestos.

Plásticos y otras sustancias sintéticas persistentes que puedan flotar, quedar en suspensión o hundirse en el mar, obstaculizando gravemente cualquier uso legítimo del mismo.

3.3.2. *Clase II.* — Sustancias que, si bien presentan caracteres análogos a los de la Clase I y deben ser objeto de un control riguroso, son, sin embargo, menos nocivas o se hacen más rápidamente inocuas por un proceso natural.

La concentración de estas sustancias en los efluentes debe ser reducida a niveles que limiten severamente la contaminación de la zona.

Las sustancias de esta clase son:

Compuestos orgánicos del fósforo, silicio y estaño y sustancias que puedan originar tales compuestos en el medio marino, con excepción de aquellos que sean biológicamente inocuos, o que se transformen rápidamente en el mar en sustancias biológicamente inocuas.

Antimonio, arsénico, cinc, cobre, cromo, níquel, plata, plomo selenio y vanadio.

Plaguicidas y subproductos no incluidos en la Clase I, ni entre los compuestos orgánicos de la Clase II.

Hidrocarburos de origen petrolífero no incluidos en la Clase I.

Cianuros y fluoruros.

Sustancias productoras de espumas persistentes.

Sustancias que, aun sin tener carácter tóxico, puedan resultar nocivas a la flora y fauna marinas como consecuencia de las cantidades vertidas, o puedan reducir las posibilidades de esparcimiento.

La Administración se reserva la facultad de considerar para cada caso particular de vertido qué componentes del mismo, fi-

guren o no en la Clase II, deben incluirse en la Clase I y, por consiguiente, prohibir su vertido o exigir la reducción de su concentración a niveles tan bajos que no puedan producir contaminación de la zona.

A título indicativo se reseña a continuación una serie de parámetros de calidad de las aguas residuales y sus límites respectivos, elaborada por la Dirección General de Sanidad en su informe a la presente Instrucción:

Parámetro	Unidad de medidas	Concentración a no sobrepasar en más del	
		50 por 100 de muestras	10 por 100 de muestras
Gases y aceites	mg/l	1,0	2,0
Turbidez	UJT	50,0	75,0
pH	Unidades pH	entre 6,0 - 9,0 en todo momento	
Cadmio	mg/l	0,5	1,0
Cromo Total	mg/l	1,5	3,0
Cobre	mg/l	0,5	1,0
Plomo	mg/l	7,5	15,0
Mercurio	mg/l	0,05	0,10
Níquel	mg/l	5,5	11,0
Plata	mg/l	0,025	0,05
Cinc	mg/l	3,5	7,0
Arsenio	mg/l	3,0	6,0
Cianuros	mg/l	5,0	10,0
Cloro residual Total ...	mg/l	1,0	2,0
Compuestos fenolíticos.	mg/l	0,5	1,0
Amoníaco (como nitrógeno)	mg/l	40,0	60,0
Hidrocarburos clorados.	mg/l	0,003	0,006
Toxicidad	ut	7,5	10,0

Hasta aquí, del B. O. E.

Quedan unas consideraciones acerca del empleo de la concentración de coliformes como parámetro indicador de la contaminación biológica y de la peligrosidad de unas aguas como medio para la transmisión de enfermedades virales y bacterianas. Se le considera como un útil parámetro indicador de la

contaminación ocasionada por el vertido de aguas domésticas; sin embargo, estos microorganismos pueden proceder de otras fuentes. Tales como agropecuarias, directamente o a través de ríos y estuarios, o de la propia actividad en playas; aunque ello no invalida su cualidad como indicador debido a tres

ventajas importantes de los bacilos califormes: su relativamente fácil recuento, lo que permite el análisis rápido de numerosas muestras, su gran sensibilidad al análisis, lo que permite su cuantificación en concentraciones muy pequeñas, y el hecho de que su progresiva disminución permita definir la capacidad purificadora de las aguas marinas (Gameson).

V. TRATAMIENTOS VERSUS DISPOSITIVOS DE VERTIDO

Para cada tipo de aguas residuales y de recinto receptor, así como para cada objetivo planificador y ambiental existen dos tipos de actuaciones, alternativas y complementarias, cuya elección corresponde al ingeniero. La primera alternativa es el tratamiento de las aguas residuales en plantas adecuadas y conducente a disminuir la concentración en sustancias nocivas. La segunda en favorecer los mecanismos dispersores mediante los adecuados dispositivos de vertido, de forma que se produzca una dilución de las mismas sustancias nocivas.

Los efluentes urbanos son susceptibles de varios tipos posibles de tratamientos que la Instrucción española clasifica en previos, primarios, secundarios y terciarios, en orden de menor a mayor eficacia y costo. Los tratamientos de efluentes industriales son más variables, en función de la naturaleza de éstos, pero la tendencia general es al mínimo consumo de aguas, mediante su reciclado, y a la eliminación del vertido de aquellas sustancias que, por su naturaleza no degradativa y/o bioacumulativa, pueden alcanzar tasas de concentración de efectos irreversibles o de difícil pronóstico. Se tiende a prohibir por ley el vertido de las aguas que los contengan sin una separación previa y al almacenamiento por separado de tales sustancias.

Los casos de metales pesados y de sustancias hidrocarbonadas persistentes no naturales son ligeramente diferentes. Los metales pesados se hallan en todos los océanos naturalmente, depositados en el fondo o en concentraciones muy pequeñas en equilibrio. El problema de vertidos conteniéndolos es grave cuando no se asegura una rápida dilución suficiente. Si no se dispone entonces de un dispositivo de vertido adecuado es necesaria entonces su eliminación previa de las aguas a verter. Por el contrario, las sustancias hidrocarbonadas de difícil destrucción por medios naturales deben separarse o destruirse mediante los procesos adecuados previos al vertido.

El proyecto de vertido debe buscar la optimización del ecosistema teniendo en cuenta tres factores: la capacidad de dilución que puede lograr el dispositivo de vertido, la disminución de la concentración que pueda producir el tratamiento y el impacto ecológico derivado de las concentraciones finales sobre la biocenosis concreta del ecosistema considerado.

Según Pearson, los términos del dilema han cambiado en las últimas décadas. En el pasado se trataba de decidir entre tratamiento primario o secundario y entre vertido en estuario o mar abierto. Actualmente el volumen de vertidos es tan ingente que se trata de decidir entre tratamientos secundarios y terciarios y la distancia a la costa de los vertidos. Según el citado autor la eficacia de los tratamientos puede establecerse alrededor de las siguientes porcentajes. Tratamiento terciario, eliminación del 98-99 por 100 del elemento nocivo; tratamiento secundario, del 90 por 100 aproximadamente; tratamiento primario, del 75 por 100 aproximadamente. En contrapartida, la dilución conseguida por las modernas técnicas de vertido, a largas distancias de la costa puede estimarse en

150 a 1, mientras que la dilución media lograda en vertidos cerca de la costa es sólo de 10 a 1. Con la combinación adecuada de ambas técnicas, elevados tratamientos y largos emisarios pueden reducir a más de 10.000 a 1 la tasa de incorporación de contaminantes conservativos como en los no conservativos, y tanto más cuanto menor es la vida media de éstos. De aquí deduce la importancia decisiva en el proyecto de la denominada tasa de decay (desaparición) del contaminante de proyecto (generalmente los bacilos coliformes) ya que la otra manera de combatir la contaminación microbiana, añadiendo desinfectantes al tratamiento, puede producir una contaminación por toxicidad de los desinfectantes.

Para tener un buen conocimiento del impacto ambiental es precisa una información adecuada sobre las tasas de emisión de polucionantes y de la eficacia de los procesos de eliminación de los mismos, así como de las características físicas, químicas y biológicas de las distintas alternativas del punto de vertido. Sin embargo, carencia de información no justifica la ausencia de un análisis racional de los costos y consecuencias alternativas. El exceso de costos de un tratamiento superior puede justificar la inversión en un más largo emisario. Esta alternativa, según Pearson, es la que, con menor costo, logra un menor impacto ambiental negativo, salvo excepciones.

En el caso en que los vertidos contengan sustancias de difícil o imposible eliminación (DDT, etcétera), esta ventaja comparativa se ve acentuada, lo mismo que cuando el impacto ecológico crezca más que linealmente con la proximidad a la costa del vertido: en el caso en que se produzcan deficiencias o detenciones de proceso en la planta de tratamiento los daños ecológicos y sanitarios son mayores en el caso de la solución que

VERTIDOS EN EL MAR

suponga mayor tratamiento y más próximo vertido. Este análisis parece correcto siempre que se tengan en consideración dos puntos fundamentales:

a) Cuando en el vertido se contengan sustancias conservativas y/o bioacumulables de alta toxicidad, el tratamiento de eliminación de las mismas ha de estudiarse como solución óptima, aunque no vaya acompañado de un tratamiento general de las aguas residuales y se opte por una longitud de emisario y dispositivo de difusión que garantice la dilución de los demás contaminantes.

b) En costas muy planas, donde para alcanzar profundidades de vertido son necesarias longitudes de emisario excesivas, o en costas con fondos rocosos y fuerte y constante diná-

mica litoral en las que, aun cuando la dilución obtenible sea más elevada, la ejecución de las obras de vertido puede acarrear fuertes sobrecostos, la solución basada en el dispositivo de vertido puede no ser la más adecuada con toda probabilidad. A este respecto el ejemplo comparativo de la práctica en dos estados americanos es claramente iluminadora. La técnica californiana se basa en la construcción de emisarios de longitud adecuada, principalmente. La tejana, exclusivamente en la exigencia por ley de tratamientos y procesos de eliminación con un fuerte control de los vertidos.

Concluyendo, el análisis funcional del problema exige de consideraciones y comparaciones cuidadosas entre los distintos procesos posibles de trata-

miento y sistemas de vertido, para elegir la que optimice el ecosistema; ello exige la evaluación del nivel de tratamiento y su evolución durante la vida previsible (generalmente decreciente), la de la capacidad de emisario y difusores y su disminución a lo largo de la vida previsible por colmatación y/u obturación, de los costos, de primera instalación y de mantenimiento, y de las posibilidades de implementación y de incremento de capacidad. En general, los sistemas conjuntos de tratamiento y vertido que se apoyan preferentemente en el dispositivo de vertido tienen la ventaja de lograr mayores diluciones finales a menor costo y con mayor grado de seguridad. Los que se apoyan en un tratamiento que reduzca los niveles de concentración originales, la

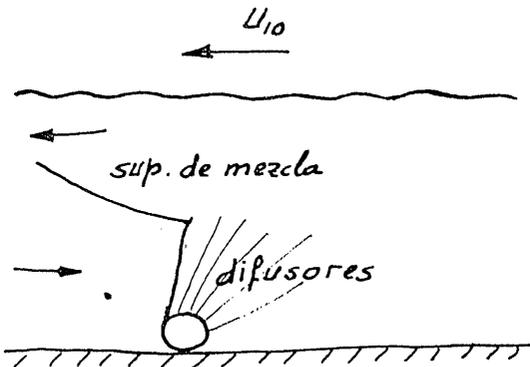


FIGURA 2. a)

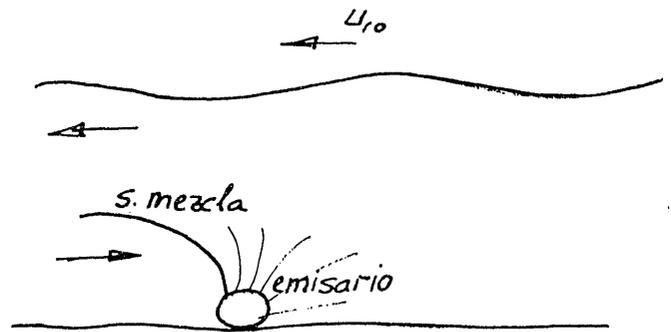


FIGURA 2. b)

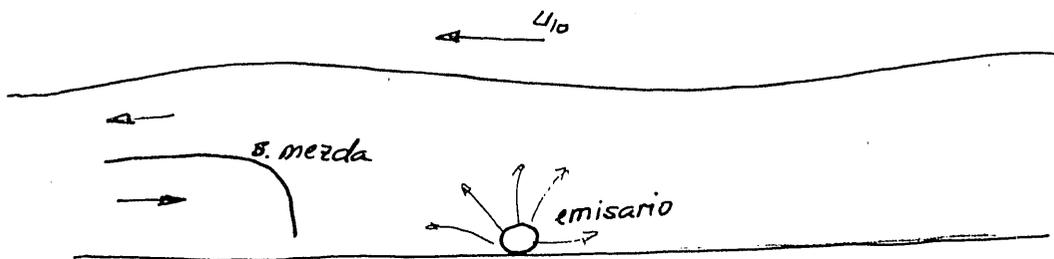


FIGURA 2. c)

Fig. 2.—Esquemas derivados de los estudios de Wlegel. Viento soplando hacia tierra.

de proveer la disminución de un contaminante específico y reducir la masa total de contaminantes vertidos proveyendo de flexibilidad para responder a cambios imprevistos.

Para vertidos en áreas confinadas la tendencia es a desarrollar los procesos de tratamiento, dado el enorme volumen de vertidos que soportan, además de su ya mencionada menor capacidad de dilución.

VI. MECANISMOS DE DILUCION

Hay muchas razones para esperar un alto grado de variabilidad en las concentraciones determinadas en puntos de la costa próximos a un punto de vertido; la primera de las cuales es la propia variabilidad en el ritmo de descarga y en la concentración original de cada contaminante o parámetro indicador. Las variaciones diurnas y estacionales en la concentración de califormes son características. Otras razones pueden ser agrupadas en a) derivados de factores ambientales, b) fuentes extrañas del contaminante y c) tasas de decay (por mortalidad, reacción química o flaculación).

a) Los principales factores ambientales que parecen tener efectos en el grado de concentración de un contaminante, y, en particular, en el parámetro de proyecto, el recuento de coliformes, son las corrientes, la marea, el viento, la lluvia, la radiación solar y el oleaje. La marea tiene efectos tanto más importantes cuanto más corto es el emisario. En largos emisarios el efecto de la marea desaparece y es sustituido por el de las corrientes marinas. Los efectos de la marea varían con la carrera de marea y con la variación más lenta o estacional del nivel de pleamares o de bajamares; localmente, dependen de la naturaleza y rugosidad de los fondos.

La velocidad del viento puede ser también una causa importante de variaciones en el recuento, excepto en el caso de emisarios cortos, debido a corrientes inducidas superficialmente; el estudio del problema se complica por las corrientes compensatorias por el fondo. En recientes estudios realizados por Wiegel en modelo ha podido comprobar que la forma de la difusión de las aguas vertidas en las receptoras depende de la velocidad del viento a través del oleaje generado en el área y de la profundidad de la misma. Si la longitud de onda de las olas generadas es menor que la mitad de la profundidad, la difusión hacia la costa se ve impedida claramente por las corrientes compensatorias (figura 2-A). El fenómeno disminuye al crecer la longitud de onda por deformación de la rama vertical de la superficie separadora de las aguas de distintas densidades o velocidades y, así, cuando dicha longitud iguala o supera la profundidad, dicha superficie retrocede hacia la costa y permite la difusión de los vertidos hacia la misma. Análogo es el efecto del oleaje del largo excepto en las zonas próximas a rotura en que la dispersión es mucho más intensa, aunque existe mayor riesgo entonces de que alcance la playa seca (figuras 2-B y C).

La lluvia podría considerarse también como causa extraña dado que está en el origen de las fuentes contaminantes producidas por vertidos accidentales ocasionados por escorrentías. Pero también ocasiona un incremento de la dotación en ciertos contaminantes de las aguas del efluente, así como una contaminación directa por arrastre de partículas suspensas en la atmósfera.

b) Se consideran fuentes extrañas aquellas, accidentales o no, donde las aguas del recinto recogen algún contaminante con independencia de los efluentes

canalizados y tratados. Se trata de la desembocadura de algunos ríos y de algunas escorrentías debidas a tormentas, así como de alguna contaminación de origen animal o humano en puntos localizados de la costa. En este sentido es en el que la lluvia, aun siendo un factor ambiental, puede considerarse como de este grupo: afecta a la propia dilución tras el vertido por el difusor, incrementa el volumen del contaminante en el emisario, en las desembocaduras fluviales y en las escorrentías, por efecto de unas mayores capacidades de disolución y de arrastre.

c) En general, siguen una cinética de primer orden, tanto a la luz del día como en la oscuridad, excepto en aquellos procesos en que toma parte la síntesis clorofílica. La velocidad de decrecimiento es proporcional a la concentración en cada instante t . Se puede así escribir, $\frac{dC}{dt} = K \cdot C$, cuya integración, asumiendo que el instante inicial corresponde a la concentración original, C_0 , será:

$$C_t = C_0 \cdot e^{-Kt} = C_0 \cdot 10^{-K't}$$

donde K es la tasa de decrecimiento o decay.

Denominando T_{10} al intervalo de tiempo necesario para reducir la concentración al 10 por 100 de la inicial:

$$C_{T_{10}} = 0,1 C_0 \cdot 10^{-K' T_{10}}$$

$$T_{10} = \frac{1}{K'} = \frac{\ln 10}{K}$$

Sobre el valor de T_{10} influyen la intensidad de radiación luminosa y la temperatura. El análisis experimental "in situ" es a veces imposible, sobre todo cuando T_{10} es superior al período nocturno o diurno. También depende del motivo de decrecimiento. Para el proyecto se suele considerar la concentración

de coliformes, cuya desaparición suele ser por muerte y en cuyo caso el factor más activo parece ser la radiación luminosa. La experimentación muestra una mayor tasa de muerte durante las horas de luz. El valor de T_{90} disminuye según una ley logarítmica al aumentar la temperatura desde doscientas horas para 0° C hasta treinta horas para 30° C. El logaritmo de la concentración en coliforme varía casi linealmente con el tiempo de exposición a una radiación de intensidad supuesta constante. Casi la mitad de los efectos totales de la radiación solar son atribuibles a las longitudes de onda inferiores a 370 nm; una cuarta parte, aproximadamente, al ultravioleta próximo (370 nm - 400 nm) y el resto a la región azul y verde del espectro visible (400 - 500 nm). Es despreciable el efecto de las longitudes de onda superiores a 500 nm (Gameson).

Desde que se produce el vertido hasta que se realiza la medida de la concentración de un contaminante en un punto se produce un fenómeno de dilución del mismo para cuyo análisis podemos separarlo en tres procesos o mecanismos distintos. El análisis los va a exponer como mecanismos sucesivos, pero hay que tener bien en cuenta que se producen simultáneamente. Es cierto que cada uno de los mecanismos alcanza su máxima intensidad en un tiempo anterior o posterior al de los otros, de modo que dichos

máximos pueden considerarse sucesivos, pero, de hecho, prescindiendo de las importancias relativas, se producen simultáneamente. Sobre el tercer mecanismo ya se ha dicho suficiente al tratar los procesos de decay; merced a él se produce un decrecimiento aproximadamente uniforme a lo largo del tiempo, cuya velocidad, a igualdad de los demás factores, disminuye linealmente con la concentración tal y como hemos visto. Es claro que existirán variaciones diurnas (luz solar y temperatura), estacionales o accidentales (temperatura y otros) o sólo accidentales (turbulencia general, etc.), de naturaleza más o menos aleatoria y cuya variabilidad en el cálculo se puede introducir en el valor de T_{90} .

Los otros dos mecanismos son denominados más frecuentemente como dilución inicial y dispersión horizontal.

La dilución inicial se debe a dos factores fundamentales, el momento del vertido, creciente con V —velocidad de salida por los difusores— y decreciente con Y —profundidad del difusor— y la boyancia, debida a la diferencia de densidades entre las aguas vertidas y las receptoras, $\Delta \rho$, que, a su vez, es función de la temperatura y la salinidad respectivas; el análisis teórico más sencillo resulta de aplicar la ecuación de la continuidad:

$$Q_v \cdot C_v = C_i \cdot V_x \cdot b h$$

donde:

Q_v = Caudal vertido.

C_v = Concentración original.

C_i = Concentración tras dilución inicial.

V_x = Velocidad de corriente en dirección normal a la línea de difusores.

b = Longitud de difusores.

h = Profundidad Y .

Se llama dilución inicial al cociente $D_1 = \frac{C_i}{C_v} = \frac{V_x \cdot b h}{Q_v}$

La difusión por dispersión horizontal se produce por causa de la turbulencia originada por las corrientes, el viento y el oleaje. Recientemente Wiegel ha llamado la atención sobre la importancia de los remolinos de "gran escala". Esta difusión depende en gran medida de la velocidad de corriente y crece cuanto más perpendicular es ésta a la alineación de los difusores. En estudios en modelo existe gran dificultad para medir el coeficiente de difusividad o mezcla. Existen varias fórmulas empíricas para medir esta dilución D_2 , que mencionaremos en la segunda parte.

La dilución total es el producto $D_1 \times D_2 \times D_3$ de las tres diluciones parciales mencionadas, donde D_3 mide la dilución por decay.