Monterroso-Hoyos, Ó., M. Rodríguez, E. Ramos, Ó. Pérez, O. Álvarez, L. Cruces & A. Miguel (2019). Estudios ambientales en relación con los vertidos de tierra al mar en Canarias. En Afonso-Carrillo, J. (Ed.), *Agua: reflexiones para una gestión eficaz*, pp. 109-135. Actas XIV Semana Científica Telesforo Bravo. Instituto de Estudios Hispánicos de Canarias. Puerto de la Cruz. 170 pp. ISBN 978-84-09-15374-9

4. Estudios ambientales en relación con los vertidos de tierra al mar en Canarias

Óscar Monterroso-Hoyos, Myriam Rodríguez, Eva Ramos, Óscar Pérez, Omar Álvarez, Lorenzo Cruces y Amaya Miguel

Centro de Investigaciones Medioambientales del Atlántico S.L. (CIMA). Avenida de los Majuelos 115, 38107 Santa Cruz de Tenerife, Islas Canarias, España. email:oscar@cimacanarias.com.

Las aguas residuales resultado de su utilización tanto a nivel doméstico como industrial siempre han constituido un problema que de una manera bastante ingenua se ha querido resolver simplemente ocultándolas a la vista. Verterlas al mar ha sido la opción a la que han recurrido las poblaciones litorales, lo que ha implicado una profunda degradación de las zonas costeras próximas a las áreas urbanas. Conscientes del grave problema, en la actualidad nos hemos dotado de una estricta legislación emanada de las directrices de la Unión Europea (UE) que afecta a todos los estados miembros con respecto tanto al tratamiento al que se deben someter las aguas residuales antes de ser vertidas, como a los mecanismos a desarrollar para mantener un buen estado ambiental de las aguas costeras. Desafortunadamente, Canarias se encuentra bastante atrasada en el cumplimiento de los plazos dados por la UE para resolver los problemas ligados al saneamiento y a los vertidos al mar.

La legislación obliga a la realización de estudios ambientales tanto durante el planeamiento de un vertido autorizado, como después de puesto en funcionamiento, para valorar su correcta gestión. En CIMA hemos adquirido una amplia experiencia en la realización de estos estudios y contamos con modernos equipos que nos permiten abordar todos los aspectos requeridos por la legislación. Estos estudios ambientales los llevan a cabo biólogos marinos especializados en gestión ambiental y siguen un detallado protocolo que incluye la recopilación de la información existente sobre la zona de posible afección por el vertido, el estudio hidrodinámico de la zona, la cartografía de las comunidades y los hábitats del litoral, el estudio de la calidad del agua y la del sedimento en los fondos no rocosos. Con toda esta información es posible analizar y valorar los potenciales impactos en el medioambiente de un vertido de tierra al mar durante la fase de ejecución del proyecto y durante su fase de explotación, con el fin de que se puedan tomar las decisiones convenientes.

Introducción

Las intervenciones humanas en sentido amplio han supuesto, a lo largo de la historia, una transformación paulatina del medioambiente, si bien nunca con tanto vigor como en los últimos decenios. Nos encontramos ante un modelo de desarrollo dominante más que cuestionable y que está generando importantes transformaciones en todos los ecosistemas del planeta. Tales de Mileto (624 a.C.), fue el primero que afirmó que la tierra era circular y que el agua es el principio de la vida universal y el elemento conductor de la naturaleza, pues bien, este elemento conductor que alimenta al conjunto de la biosfera, desde mucho antes que el pensamiento de este hombre sabio sugiriera su importancia, en la realidad actual, sufre grandes riesgos, presiones y deterioros.

Actualmente, aunque la opinión pública es bombardeada con los datos alarmantes de los riesgos del calentamiento global del planeta, del efecto invernadero, de los efectos nocivos para la salud humana de las sustancias contaminantes, etc., parece que la ciudadanía, en general, no ha adquirido una conciencia clara de la gravedad y la proximidad del problema, o cree que no le concierne de forma inmediata, por lo que delega su responsabilidad en parte en los políticos, y en parte, en los científicos y técnicos. En muchas ocasiones también se banaliza la lucha por la conservación del medioambiente por su oposición a fuertes intereses económicos y la dificultad de encaje en una sociedad de alto consumo. Así, es importante que la sociedad tenga una visión lo más real posible de los

problemas ambientales de su entorno y que se produzca un pensamiento crítico global que sea capaz de traspasarse a la política, y de esta manera se prioricen las acciones encaminadas a mejorar esta situación. Uno de los problemas ambientales que tenemos en nuestro entorno inmediato es la existencia de una degradación ambiental acumulativa, que se produce en nuestros mares debido a los vertidos desde tierra al mar afectando a nuestro litoral y ecosistemas marinos costeros.

Las presiones e impactos en las aguas costeras de Canarias, en rasgos generales son similares a las de otras zonas litorales del mundo. Estas fuerzas contaminantes que pueden originar presiones sobre las aguas costeras en Canarias son principalmente la población, la industria, el desarrollo portuario y diversos usos costeros, como es el caso de la acuicultura marina (Fig. 1). Estas posibles presiones se englobarían, dentro de las categorías de presiones por fuente de contaminación puntual y por fuente de contaminación difusa.



Fig. 1. Ejemplos de presiones sobre las aguas costeras de Canarias. A. Poblaciones costeras. B. Industrias. C. Instalaciones portuarias. D. Acuicultura.

Las principales presiones generadas por contaminación de fuente puntual se deben a los vertidos directos desde tierra al mar. Estos pueden ser de muy diversas procedencias, encontrándose vertidos de naturaleza urbana, industrial, salmueras procedentes de las desaladoras e incluso existen casos en los que estos vertidos se producen de forma conjunta.

La mayor problemática de los vertidos de aguas residuales urbanas se asocia a los altos niveles de materia orgánica, así como de compuestos de nitrógeno (nitratos y nitritos) y de fósforo (fosfatos), además de una gran variedad de microorganismos derivados de las actividades del hombre (principalmente bacterias coliformes y estreptococos).

Los vertidos de aguas residuales industriales pueden ser de muy diferente procedencia y por lo tanto la naturaleza del contaminante al igual que su comportamiento en el medio receptor, también puede ser muy variada. Por lo general, la contaminación que presenta este tipo de vertidos, es una contaminación de naturaleza química de diferentes clases, y también de naturaleza térmica proveniente de los sistemas de refrigeración.

La salmuera es un tipo diferenciado de vertido que tiene su procedencia en las estaciones desaladoras. Durante su funcionamiento se produce un importante volumen de agua de rechazo, un producto secundario compuesto por una salmuera de elevada salinidad (43-90 usp) y por otros aditivos que se emplean en el proceso de desalación.

Los vertidos generados por las instalaciones de acuicultura marina, casi en su totalidad ubicadas en mar abierto y dedicadas al engorde de peces (dorada y lubina), también son, aunque en mucha menor medida, una fuente de contaminación puntual. Los sistemas de cultivo intensivo en jaulas liberan residuos orgánicos directamente al medio, tanto en forma sólida (pienso no consumido y heces) como disuelta (excreción de amonio), impactando tanto la columna de agua como el sedimento del fondo marino. Estos residuos, constituidos principalmente por C, N y P, pueden originar diferentes impactos dependiendo de la cantidad, de las condiciones hidrográficas de la zona y del tipo de ecosistema receptor (Fig. 2).

Las principales presiones por contaminación de fuente difusa son los entornos portuarios, siendo las sustancias vertidas en estas instalaciones muy diversas, entre las que se pueden destacar hidrocarburos, aceites, metales pesados, además de fugas de sustancias peligrosas y de organismos transportados accidentalmente por barcos y plataformas en aguas de lastre o en el *fouling* del casco, que pueden ser responsables, como ya se ha constatado en numerosos casos, de la introducción de especies alóctonas con potencial invasor (Fig. 3).

De manera que es posible asegurar que de todas las presiones que sufre el litoral de Canarias, son los vertidos de tierra al mar la principal amenaza sobre la calidad de las aguas costeras.

Estas presiones sobre el medio marino son tan reales, como es la consideración del medio marino como un lugar de ocultación de una gran parte de nuestros residuos.

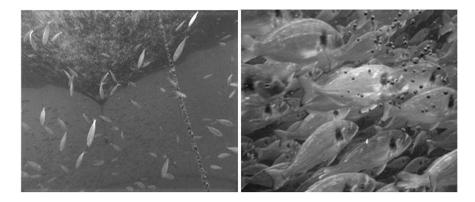


Fig. 2. Ejemplos de vertidos de acuicultura. Los cultivos intensivos en jaulas liberan residuos orgánicos directamente al medio, tanto en forma sólida como disuelta.



Fig. 3. Ejemplos de actividad portuaria en Canarias relacionada con plataformas y buques perforadores.

Queremos, y debemos, tener nuestras aguas costeras en buen estado ambiental y una herramienta fundamental para conseguirlo debe ser un buen conocimiento del medio marino que constituya la base para poder adoptar las medidas oportunas para minimizar y evitar los impactos que generamos en nuestra actividad.

Situación de los vertidos en Canarias

En base a los datos publicados en el última actualización del censo de vertidos de noviembre de 2017 por la Dirección General de Protección de la Naturaleza del Gobierno de Canarias (Fig. 4) se desprende que existen

censados actualmente en Canarias un total de 394 puntos de vertido de los cuales 49 son emisarios submarinos, 306 conducciones de desagüe y 30 instalaciones en el dominio público marítimo terrestre (DPMT).

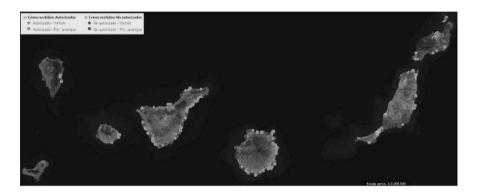


Fig. 4. Distribución de vertidos tierra-mar en Canarias [Fuente: Actualización Censo de vertidos de Canarias 2017 (CivilPort Ingenieros)].

Del total de vertidos que se realizan en el litoral de Canarias a fecha del mencionado informe, solo el 29% cuentan con la preceptiva autorización, mientras que el 71% restante no están autorizados. De estos vertidos cabe destacar que el 57% corresponden a aguas residuales urbanas (224 vertidos), 15% de agua salada de piscinas (59 vertidos) y 12% de salmuera de plantas desaladoras (52 vertidos) (Fig. 5).

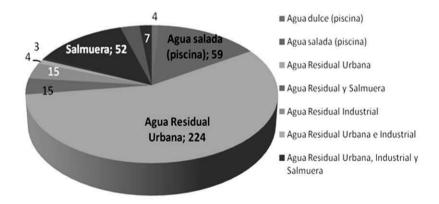


Fig. 5. Naturaleza de los vertidos tierra-mar en Canarias [Fuente: modificado de Actualización del Censo de vertidos de Canarias 2017 (CivilPort Ingenieros)].

Centrándonos en la isla de Tenerife, en este censo se señala la existencia de 172 vertidos, de los cuales el 66% corresponden a aquellos que carecen de autorización (113 vertidos) y solo el 34% están autorizados (Fig. 6).

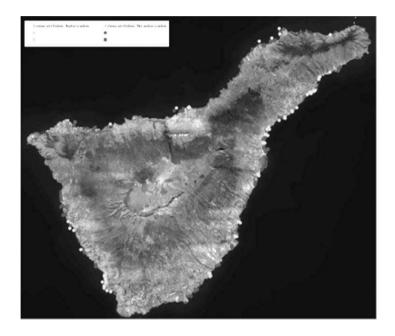


Fig. 6. Distribución de vertidos tierra-mar en Tenerife [Fuente: Actualización Censo de vertidos de Canarias 2017 (CivilPort Ingenieros)].

La mayoría de los vertidos no autorizados no recibe ningún tratamiento previo antes de llegar al mar, y por lo tanto, incumplen los requerimientos de la actual legislación. Además, es común que un mismo emisario desaloje de forma conjunta tanto vertidos urbanos como industriales.

La mayor parte de los núcleos más poblados de Canarias tienen cierto control sobre sus vertidos al mar, al igual que ocurre con las industrias, que son objeto en principio de una mayor vigilancia. Los tratamientos secundarios sólo se llevan a cabo en las grandes depuradoras de algunos de los grandes núcleos urbanos, evitando que agentes tóxicos o contaminantes lleguen al mar. Sin embargo, el problema se agrava con los núcleos pequeños y dispersos, ya que son muy pocos los que someten sus aguas residuales a un tratamiento antes de ser vertidas al mar.

Otro punto problemático se encuentra en los vertidos que provienen de polígonos industriales, puesto que la gestión de los mismos corresponde a los ayuntamientos que, muchas veces, carecen de los medios suficientes para llevar a cabo ese control. Además, en los polígonos se suman los vertidos procedentes de todas las industrias y por lo que resulta complejo determinar la empresa que más contamina y el contaminante responsable.

En los diferentes censos y estudios realizados sobre vertidos tierra a mar, se ha observado con cierta frecuencia, que la información disponible difiere en función de la fuente consultada. Las principales causas de esta dificultad se describen a continuación.

- La mayor parte de los ayuntamientos no tienen un conocimiento adecuado de la infraestructura y características de sus redes de saneamiento.
- Existe una proliferación de pequeñas urbanizaciones privadas sin recepcionar por parte de los ayuntamientos, así como de pequeños núcleos urbanos derivados de procesos de autoconstrucción, sobre los que es difícil recabar información de cualquier tipo.
- Las empresas privadas implicadas en la gestión de aguas residuales o vertidos de cualquier naturaleza generalmente se muestran reacias a facilitar la información requerida.
- Frecuentemente no existen datos sobre las características básicas de los efluentes, como por ejemplo los caudales, lo que supone que algunos de estos datos deban ser estimados.
- La compleja orografía insular (por ejemplo, la costa norte de Tenerife), junto con la gran dispersión de las edificaciones allí existentes, dificulta una exhaustiva identificación de todos los focos potenciales de vertidos de origen doméstico/urbano, si bien estos son normalmente de escaso aforo.
- No existe información técnica adecuada sobre las infraestructuras marítimas, especialmente en cuanto a localización de conducciones se refiere.

De manera que para minimizar los efectos contaminantes de un vertido, es absolutamente necesario la realización de diversos estudios ambientales con el propósito de garantizar, en la medida de lo posible, un mínimo impacto ambiental, garantizando de este modo la estabilidad e integridad de los ecosistemas.

Estudios Ambientales

Los estudios ambientales relacionados con vertidos de tierra al mar deben realizarse tanto desde la fase de diseño de un proyecto constructivo (por ejemplo, el diseño o proyecto de instalación de una conducción de vertido), como durante el proceso de gestión de un vertido ya en funcionamiento. Estos estudios ambientales se deben enfocar en primera

instancia a la caracterización del medio receptor del vertido, en este caso el medio marino. Esta caracterización debe cumplir con los requerimientos de la legislación de aplicación (Orden de 13 de julio de 1993 por la que se aprueba la Instrucción para el proyecto de conducciones de vertidos desde tierra al mar) que indica, en su apartado 5.3.4, la obligatoriedad de ejecutar perfiles de temperatura, salinidad, corrientes, biocenosis y contaminación de fondo, batimetría, etc. Estos datos son necesarios para la realización del estudio de la afección del proyecto. Este estudio de afección debe valorar las posibles consecuencias de un vertido que pueden derivar en:

- Un impacto ambiental.
- Una incompatibilidad con los objetivos de la Estrategia Marina Canaria.
- Un incumplimiento de las Normas de Calidad Ambiental (NCA) que son los valores de referencia.

Metodología de los estudios ambientales

En primer lugar, se realiza la caracterización del medio receptor del vertido a partir de la recopilación de la información existente de la zona. Se trata de información relevante para el estudio de afección del vertido, como por ejemplo, la existencia de espacios protegidos o de interés en la zona (Fig. 7), el ecotipo de agua costera que se va a ver afectado (Fig. 8), la

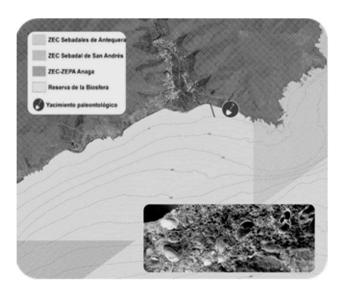


Fig. 7. Ejemplos de datos recopilados para estudios de afección de vertidos: espacios protegidos.



Fig. 8. Ejemplos de datos recopilados para estudios de afección de vertidos: ecotipos de aguas costeras.

existencia de otras fuentes de contaminación puntuales o difusas, la presencia de zonas de aguas de baño y playas, la batimetría y los datos de pendiente que permitan la generación de modelos digitales del terreno en dos y tres dimensiones (Figs 9, 10) que luego serán necesarios para realizar los pertinentes cálculos de dispersión del vertido, etc.

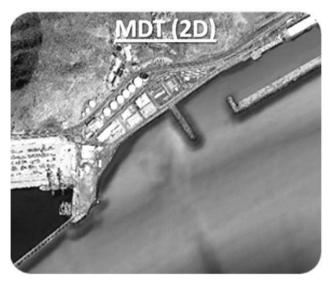


Fig. 9. Ejemplos de datos recopilados para estudios de afección de vertidos: modelo digital del terreno en dos dimensiones.

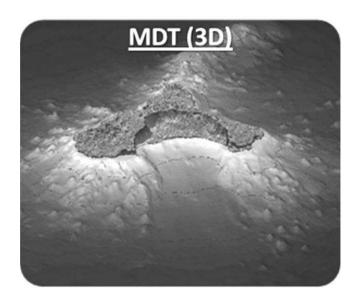


Fig. 10. Ejemplos de datos recopilados para estudios de afección de vertidos: modelo digital del terreno en tres dimensiones.

Una vez recopilada la información existente para caracterizar el medio receptor y conocidos los datos del diseño del proyecto, incluido el emplazamiento y caudal previsto de la conducción, se tiene que acometer una campaña para realizar el estudio de modelización o hidrodinámico del vertido, para establecer cómo se comportará en el medio receptor y poder inicialmente responder a la cuestión, ¿a qué, o a quiénes puede afectar este vertido?

Estudio hidrodinámico

Para determinar el comportamiento del vertido en el medio se tienen que realizar mediciones para caracterizar las corrientes locales. Para ello se utilizan dos métodos: el método euleriano (perfilador de corrientes) y el método lagrangiano (boyas de deriva). Con el primero se mide la velocidad y la dirección del flujo de la corriente en un punto con coordenadas geográficas y profundidades determinadas e inicialmente prefijadas (Fig. 11); mientras que el segundo consiste en el seguimiento de un objeto que viaja con la corriente (Fig. 12), permitiendo con este último calcular los coeficientes de dispersión.

Para la obtención de los datos de corrientes mediante métodos eulerianos, se debe utilizar un perfilador de corriente, preferiblemente

doppler. Son perfiladores porque nos dan perfiles de corrientes, es decir, situados en el fondo del mar mirando hacia arriba, miden la velocidad de la corriente a distintas profundidades, proporcionando un perfil de velocidades a lo largo de la columna de agua. Utilizan el sonido y el Efecto Doppler para estimar las velocidades. Es ubicado en el fondo marino y en posición vertical, con los transductores orientados hacia la superficie. La fijación al fondo se hace mediante una estructura y un fondeo específico, que asegurarán la estabilidad del aparato y su resistencia ante las inclemencias del mar. Antes de su instalación, en el laboratorio, el perfilador se configura para que tome los datos requeridos, con la temporalidad y en las capas de profundidad que se requieran para el estudio en cuestión.

Estos aparatos se deben mantener fondeados al menos medio ciclo de marea (unos 15 días) y una vez recuperados se realizan los cálculos de los estadísticos básicos de la velocidad y dirección de las corrientes por capas.



Fig. 11. El perfilador de corrientes mide la velocidad y la dirección del flujo de la corriente en un punto con coordenadas y profundidades determinadas.

La modelización hidrodinámica nos predice el comportamiento del vertido en el medio receptor, es decir, como va a ser su dilución y cuál va a ser su trayectoria. En resumen, nos indica hasta donde puede llegar su afección, teniendo siempre en cuenta que los procesos de mezcla deben calcularse tanto para lo que denominamos el campo cercano como el campo lejano.

El campo cercano es la zona principalmente afectada por la turbulencia inducida del efluente en el medio receptor, es decir, la zona próxima al vertido, donde la principal fuerza inicial es la del empuje del vertido. Este campo cercano concluye cuando se interactúa con algún contorno. Cuando el vertido tiene flotabilidad positiva el campo cercano finaliza en la superficie del agua, mientras que si el vertido tiene flotabilidad negativa termina en el fondo marino (Fig. 13).

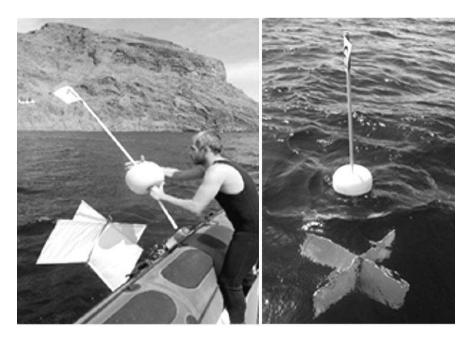


Fig. 12. El seguimiento de la boya a la deriva que viaja con la corriente permite determinar la velocidad y la dirección.

El tamaño de este campo cercano va a depender principalmente del mecanismo de descarga del vertido, es decir, del propio diseño de la conducción (número de difusores, orientación y geometría), del impulso de salida, la flotabilidad o densidad del vertido y de la profundidad desde la cual se produce.

En el campo cercano es donde se producen las mayores diluciones y por lo general abarca entre 100 a 300 metros y tiene una escala temporal de menos de 10 minutos.

El campo lejano, sin embargo, abarca desde la interacción con algún contorno (superficie o fondo), hasta aquella zona donde la concentración del efluente iguala a la del medio marino. Es la zona afectada por el empuje de la corriente (advección) y por la turbulencia ambiental. La escala espacial y temporal es mayor que en el campo cercano, normalmente se mide en kilómetros y horas, y su comportamiento depende mayoritariamente de las condiciones ambientales.

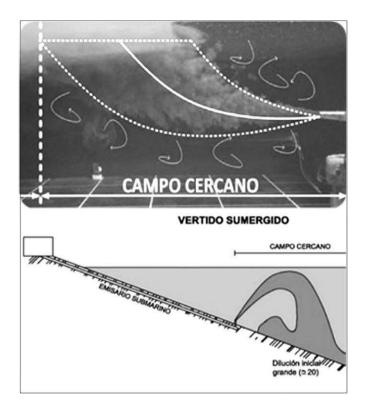


Fig. 13. Ejemplos de datos de campo cercano con vertidos de flotabilidad positiva o negativa.

Para medir el comportamiento del vertido en estos escenarios (campo cercano y campo lejano), hoy se dispone de diferentes software, que incluyen modelos numéricos que son ecuaciones y algoritmos, que en base al conocimiento actual, representan los procesos físicos que determinan la evolución espacial y temporal de las concentraciones de un vertido en el medio receptor. Estos modelos están parametrizados "a la carta", es decir sus algoritmos y ecuaciones están optimizados para resolver los procesos físicos que gobiernan los procesos de mezcla, muchas veces en base a datos experimentales.

Los modelos a utilizar requieren estar "validados", es decir, se debe demostrar empíricamente que los procesos que representan las ecuaciones y algoritmos que componen el modelo, se asemejan a los reales. Y nunca se debe olvidar que estos modelos son una herramienta predictiva, que en base a datos de entrada, a ecuaciones y algoritmos, se generan datos de salida que pronostican el comportamiento del vertido. De manera que es necesario asegurar, por un lado, que los datos de entrada son correctos, y además

confirmar con estudios de campo que las predicciones del modelo concuerdan con lo que ocurre en la realidad.

Los modelos numéricos utilizados pueden ser de tres tipos:

- Modelos de predicción de campo cercano.
- Modelos de predicción de campo lejano.
- Modelos de predicción de campo cercano + campo lejano.

La tendencia actual es la utilización de estos últimos, que son unos modelos integrados donde el campo cercano y el campo lejano se conectan por medio de un algoritmo de acople.

En estos estudios ambientales sobre vertidos es necesario realizar multitud de modelizaciones, ya que son muchos los escenarios que se deben barajar. Inicialmente se modeliza teniendo en cuenta las posibles zonas de afección (costa, playas, zonas de baño, espacios protegidos y especies protegidas). A continuación se considera la velocidad y las direcciones de la corriente para diversas situaciones. Así, los valores medios representarían una situación normal; mientras que las desviaciones de la media corresponderían a una situación desfavorable. Por último se modeliza en base a los tipos de contaminante:

- Contaminantes no conservativos: aquellos que se degradan con el tiempo y por tanto es necesario especificar el coeficiente de decaimiento o de crecimiento (por ejemplo: *Escherichia coli*, enterococos, N, P, etc.).
- Contaminantes conservativos: son los que no sufren degradación con el paso del tiempo, como por ejemplo los metales pesados y los compuestos organoclorados (DDTs, PCBs).
- Contaminantes térmicos: en este caso es necesario especificar el coeficiente de transferencia de calor por unidad de superficie.

Además de los tipos de contaminante, es necesario modelizar de acuerdo con las concentraciones de los mismos, considerando varias situaciones. Los valores medios del efluente después del tratamiento representarían una situación normal; mientras que una situación desfavorable se modeliza con los valores máximos del afluente, es decir, como si el vertido fuera directamente al mar sin ningún tratamiento.

Una vez realizada esta modelización, y conociendo ya como se comportará el vertido, debemos desarrollar un análisis comparativo con los valores de referencia, de acuerdo con las normativas de aplicación, con respecto a:

- Calidad de aguas de baño.
- Estado de las aguas superficiales.
- Normas de calidad ambiental.

- Planes hidrológicos.
- Estudios técnicos y científicos que valoran los umbrales de tolerancia de las especies o comunidades marinas a determinados contaminantes.

Paralelamente al modelo hidrodinámico es necesario realizar un cartografiado bionómico, que incluya las comunidades y hábitats bentónicos del ámbito marino que puedan resultar afectadas por el vertido. Puesto que la bionomía es la parte de la biología que trata de las relaciones de los seres vivos entre ellos y con su entorno, en una cartografía bionómica se representan las comunidades biológicas en el lugar físico que ocupan. La metodología utilizada para levantar estas cartografías se detalla a continuación de una manera resumida.

Cartografías de comunidades y hábitats del intermareal

Se debe llevar a cabo un recorrido por toda la zona del litoral próxima al vertido, para reconocer el conjunto de comunidades presentes en la zona sometida a la oscilación de las mareas (franja intermareal). Las diferentes comunidades presentes en la zona son identificadas, fotografiadas y georreferenciadas, para su cartografiado. Posteriormente, se deben seleccionar varios puntos para llevar a cabo la caracterización de las macroalgas mediante el Índice Calidad de Fondos Rocosos (CFR). Este es un método multimétrico diseñado para establecer la calidad ambiental de una localidad litoral a partir de sus comunidades algales del intermareal o submareal. El CFR fue desarrollado por el Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria (Juanes et al., 2008) y responde a los requerimientos de la Directiva Marco del Agua (DMA) (Decisión Comisión, 2013), que establecen las bases para llevar a cabo el monitoreo y seguimiento de una serie de bioindicadores que nos permiten determinar el grado de calidad ambiental de las masas de agua que bañan las costas europeas. Una de las principales ventajas de este índice es que para su aplicación no es necesaria la determinación taxonómica detallada de todas las especies de algas presentes en una zona determinada, por lo que es de fácil utilización en todas las regiones costeras con un de esfuerzo de muestreo reducido.

Este índice ha sido intercalibrado con éxito en varias zonas europeas y ha sido validado por la Comisión Europea para su uso en la implementación de la DMA (Real Decreto, 2013). A nivel nacional fue inicialmente aceptado por el Gobierno de España para el seguimiento de macroalgas en las costas atlánticas y recientemente ha sido incluido como indicador de calidad de las aguas costeras de Canarias (Real Decreto, 2015), aunque de momento no cuenta con límites preestablecidos. A nivel insular, el Plan

Hidrológico de Tenerife (Decreto, 2015) lo incorpora como uno de los indicadores representativos de los elementos de calidad biológica necesarios para determinar el estado de las masas de agua superficiales costeras.

Cartografía de comunidades y hábitats del submareal

Las técnicas actuales de cartografiado submareal (la zona situada siempre por debajo del límite de bajamar) se basan en primer lugar en el uso del *sonar de barrido lateral*, que proporciona una imagen o sonograma con la información necesaria y precisa sobre la naturaleza y morfología de la superficie del fondo. Aporta, con una precisión submétrica, la distribución de las distintas comunidades y hábitats, así como la presencia de objetos, conducciones de vertido, etc. (Fig. 14).

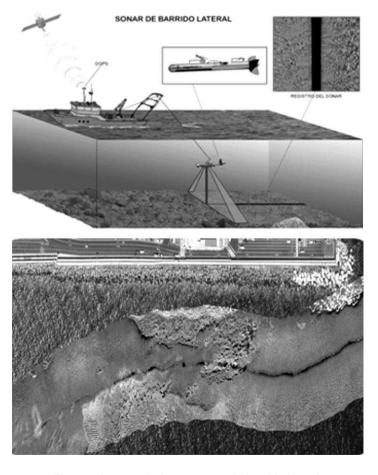


Fig. 14. Cartografiado con sonar de barrido lateral.

En base a los datos del sonar se diseña posteriormente una campaña de exploración mediante una cámara de vídeo georreferenciada que se remolca (al igual que el "pez" del sonar de barrido lateral) desde una embarcación a lo largo de una serie de transectos y puntos en la zona cercana al vertido. Se obtienen así imágenes de alta resolución que nos permiten visualizar e identificar de manera detallada las comunidades presentes en la zona de estudio (Fig. 15).

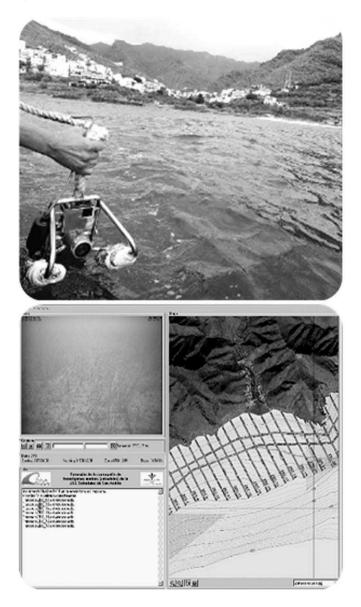


Fig. 15. Cartografiado con cámara de video de arrastre.

Una vez realizadas las campañas, tratados los datos del sonar y visualizados todos los vídeos, se dispone de todos los datos para realizar la identificación y caracterización inicial de las comunidades y hábitats presentes en los fondos recorridos. Esta información, junto con los datos batimétricos y cartográficos de la zona, se incorpora a un Sistema de Información Geográfica (SIG), para posteriormente realizar los trabajos de digitalización, generación de cartografía, cálculo de áreas y elaboración de los mapas bionómicos (Fig. 16).

Elaborados estos mapas dispondremos de una información detallada sobre las comunidades presentes en la zona del vertido y que pueden resultar afectadas.

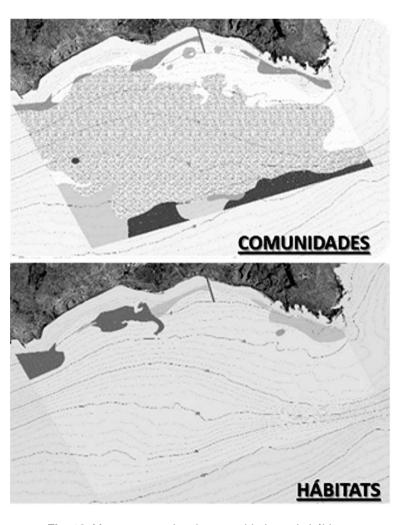


Fig. 16. Mapas generados de comunidades y de hábitats.

Estudio de la Calidad de Agua

Paralelamente a la campañas de cartografiado, se debe realizar una campaña de caracterización de la calidad el agua, tomando muestras tanto de manera puntual como a partir de perfiles oceanográficos para determinar la estructura vertical de las masas de agua.

Las estaciones de muestreo se deben situar cercanas al punto de vertido proyectado, pero seleccionando también algunas estaciones alejadas del mismo que nos servirán posteriormente de control.

Las tomas de muestras de agua superficial se realizan desde una embarcación, con la ayuda de una botella oceanográfica Niskin (Fig. 17), que permite la recogida de un volumen de agua constante debido a su estanqueidad, a la profundidad deseada. Una vez izada, el agua se trasvasa al tipo de botellas necesario según el parámetro a analizar y posteriormente, se codifica con una nomenclatura que permite la identificación unívoca de la muestra para su posterior análisis en el laboratorio (Fig. 17). Las muestras de agua se transportan al laboratorio de forma inmediata, en recipientes isotermos y refrigerados, evitando así la degradación de las mismas.

El proceso de toma de muestras se realiza siguiendo las indicaciones expuestas en la Guía para la Conservación y Manipulación de las Muestras de Agua (Norma UNE-N ISO 5667-3). Todos los análisis físico-químicos y microbiológicos de aguas se efectúan utilizando métodos oficiales y normalizados (normas UNE, ISO, Standard Methods, EPA, etc.).

Los perfiles oceanográficos se realizan con sonda multiparamétrica o CTD, para establecer las características físico-químicas de la masa de agua (Fig. 18). Las sondas multiparamétricas permiten medir un cierto número de variables y parámetros oceanográficos, y suelen tener como base una sonda CTD (acrónimo del inglés para Conductividad, Temperatura, Profundidad). Esta tecnología permite la toma de datos en continuo de la totalidad de la columna de agua. A medida que el instrumento se sumerge en el agua, las mediciones de cada una de estas variables son almacenadas en un *datalogger* (registrador de datos).

Los parámetros medidos en cada punto de muestreo, suelen ser los siguientes: profundidad (m), temperatura (°C), pH (ud. pH), turbidez (NTU), salinidad (ppt), oxígeno disuelto (mg/l) y Clorofila a (µg/l) (Fig. 19). La sonda o CTD se calibra en el laboratorio justo antes del muestreo, con la excepción de los sensores de oxígeno disuelto y de profundidad, que deben calibrarse in situ en la zona de muestreo, ya que estos son sensibles a los cambios de presión que puedan sufrir durante su traslado. Además, de forma periódica se deben realizar verificaciones en el laboratorio que garantizan el buen funcionamiento de este instrumental.



Fig. 17. Muestreo de aguas con botella Niskin y recipiente de muestras.

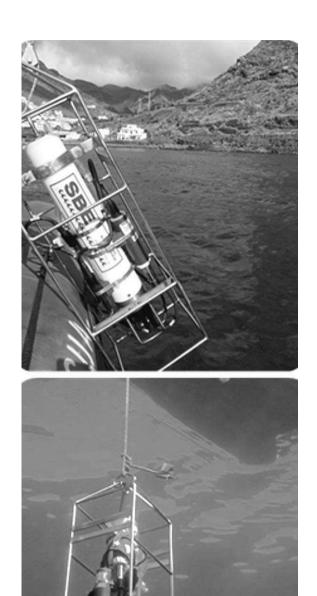


Fig. 18. Realización de mediciones con CTD.

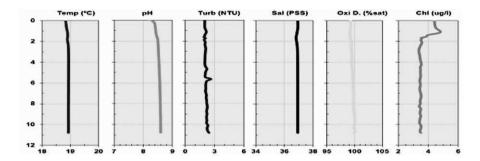


Fig. 19. Ejemplo de perfiles oceanográficos obtenidos en una estación de muestreo.

Estudio de la Calidad del sedimento

De igual manera es necesario efectuar el estudio de la calidad de los sedimentos en la zona donde se proyecta la realización de un vertido. Para ello se recolectan muestras, bien directamente a mano con buceadores que utilizan un *corer* (tubo de PVC de diámetro conocido con tapas encajadas a presión) que introducen en el sedimento 20 o 30 cm, o indirectamente a partir de dragados obtenidos desde una embarcación, utilizando una draga tipo Van Venn, que consiste en dos cubetas de muestreo sujetas a dos brazos largos que actúan a modo de palanca y facilitan el cierre de la draga (Fig. 20).

Con las muestras de sedimento se realizan por un lado los análisis de los parámetros físico-químicos, transportando parte del sedimento al laboratorio inmediatamente y en recipientes isotermos y refrigerados, y además se hace un estudio de los organismos presentes en el sedimento que se conoce como infauna. Para la extracción de la infauna, las muestras se tamizan y posteriormente, se lleva a cabo el triado de los diferentes grupos taxonómicos (crustáceos, moluscos, equinodermos, anélidos, etc.) en bandejas plásticas de base ancha (Fig. 21). En el laboratorio se procede a la identificación de todos los ejemplares bajo lupa binocular de gran potencia y microscopios ópticos, cuantificando el número de ejemplares para cada especie.

Con la información obtenida del estudio de la infauna, se confeccionan bases de datos y hojas de cálculo con las abundancias de las especies macrofaunales, que serán utilizadas para calcular el índice M-AMBI ('Multivariate-AZTI's Marine Biotic Index'). Este es un índice multimétrico diseñado para evaluar el estado ecológico del bentos de fondos blandos en las aguas marinas y transicionales europeas, utilizando como bioindicadores a macroinvertebrados bentónicos. Es el resultado de

integrar el índice AMBI, un índice biótico basado en la sensibilidad/tolerancia de las especies, junto con datos de diversidad (Índice de Shannon, H') y riqueza. Este índice, siguiendo los requisitos de la Directiva Marco del Agua, varía entre 0 (mal estado) y 1 (muy buen estado).

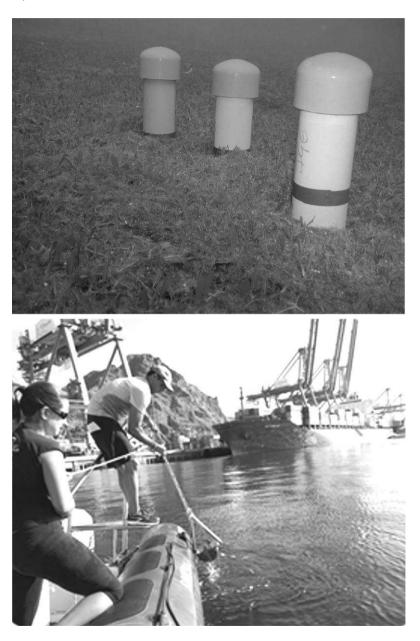


Fig. 20. Muestreo de sedimentos con corer y draga.



Fig. 21. Triado e identificación de muestras en el laboratorio.

Con toda esta información estamos en disposición de realizar los análisis de impactos potenciales en el medioambiente (ámbito marino), en las fases de ejecución y explotación de las diferentes alternativas de un proyecto de vertido de tierra al mar. Es en ese momento cuando se efectúa una valoración acerca de la compatibilidad o no del proyecto con el medioambiente, evaluando los efectos previsibles directos o indirectos sobre la población, la salud humana, la flora, la fauna, la biodiversidad, la geodiversidad, el suelo, el subsuelo, el aire, el agua, los factores climáticos, su incidencia sobre el cambio climático, el paisaje y los bienes materiales, incluido el patrimonio cultural. Asimismo, se considera la interacción entre todos estos factores.

Si el proyecto puede afectar directa o indirectamente a uno o varios espacios incluidos en la Red Natura 2000, así como a otros espacios protegidos, se debe elaborar un apartado con la evaluación de sus repercusiones, teniendo en cuenta los objetivos de conservación del espacio.

De acuerdo con la información ambiental recopilada y el análisis de impactos potenciales en el medio ambiente y en la Red Natura 2000, se tiene que valorar la compatibilidad del proyecto con los objetivos de la estrategia marina de la demarcación canaria.

En todo caso, el estudio debe contemplar una serie de medidas preventivas, correctoras y compensatorias en la fase de ejecución del proyecto. Finalmente se propondrá un Plan de Vigilancia Ambiental diseñado de tal manera que permita detectar de forma inmediata las posibles afecciones medioambientales del vertido.

Discusión

La sociedad del siglo XXI ha adquirido una mayor conciencia de la interdependencia entre el hombre y el medioambiente, y por tanto de la necesidad de una adecuada conservación y gestión de los recursos naturales. Frente a este planteamiento nos encontramos con problemas graves en la gestión eficaz de nuestro recurso más valioso, el agua.

La situación actual y las perspectivas de futuro en relación al problema de los vertidos en Canarias siguen siendo más preocupantes que hace una década, si cabe, ante la manifiesta insuficiencia de las respuestas dada a los problemas. Por un lado, la sociedad se está transformando a un ritmo cada vez más acelerado, y por el otro, la administración del medioambiente está yendo a la zaga del desarrollo económico y social pues el rápido crecimiento de la población aumenta las presiones sobre el medioambiente. Parece complicada la interacción entre los sistemas humanos (especialmente de tipo económico, social, político, cultural y tecnológico) y los sistemas ambientales (biosfera y geosfera). Lo que si podemos aceptar

como obvio es que mientras no se priorice a la gestión ambiental frente a otros intereses, el problema de los vertidos existirá y probablemente se acentuará. Podemos cambiarlo dotando a la administración competente de más medios, dándoles cobertura y alcance a proyectos no solo reparadores u orientados a superar tensiones y presiones electorales, sino aquellos que incorporen una integración ambiental continua y una ética ecológica viable.

Tenemos un marco legislativo, que aunque sea mejorable, es muy amplio en materia ambiental, lo que se requiere son los medios para poder aplicar las diferentes directivas ambientales. Aún hoy, los estudios ambientales, que deben ser el principal instrumento preventivo de los posibles impactos, son vistos por parte de la sociedad como un "impuesto revolucionario". Aunque resulte fatigosa la cantinela, debemos aceptar el desarrollo sostenible como un modelo de referencia mirando al futuro, y para ello a nivel local es urgente mejorar la gestión del agua en Canarias, puesto que es uno de sus males ecológicos más acuciantes.

Creemos que actualmente estamos en una posible transición que podría alejarnos de los procesos de insostenibilidad y encontrar soluciones al problema de los vertidos de tierra al mar en Canarias. Se requieren acciones políticas y estrategias de desarrollo que encaren los procesos de cambio hacia la sostenibilidad y la transición ecológica.

En consecuencia con lo expresado, desde CIMA queremos recordar que deseamos una sociedad, mejor unida que disgregada, con intereses comunes y respetuosa con el medioambiente.

Bibliografía

- DECISIÓN DE LA COMISIÓN de 20 de septiembre de 2013 por la que se fijan, de conformidad con la Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, los valores de las clasificaciones de los sistemas de seguimiento de los Estados miembros a raíz del ejercicio de intercalibración, y por la que se deroga la Decisión 2008/915/CE.
- DECRETO 49/2015, 9 abril, por el que se aprueba definitivamente el Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica de Tenerife (BOC nº 85, 06/05/2015).
- JUANES, J.A., X. GUINDA, A. PUENTE & J.A. REVILLA (2008). Macroalgae, a suitable indicator of the ecological status of coastal rocky communities in the NE Atlantic. *Ecological Indicators* 8: 351-359.
- REAL DECRETO 399/2013, de 7 de junio, por el que se aprueba el Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico Occidental (BOE nº 137, 08/06/2013).
- REAL DECRETO 817/2015, de 11 de septiembre, por el que se establecen los criterios de seguimiento y evaluación del estado de las aguas superficiales y las normas de calidad ambiental (BOE nº 219, 12/09/2016).