



CONAMA10
CONGRESO NACIONAL
DEL MEDIO AMBIENTE

COMUNICACIÓN TÉCNICA

“MEDVSA”. Metodología para el diseño de vertidos de Salmuera de las plantas desaladoras

Autor: Pilar Palomar Herrero

Institución: Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino

e-mail: ppalomar@mma.es

Otros Autores: Iñigo J. Losada (IH Cantabria); A.Ruiz-Mateo (CEDEX); J.L.Lara (IH Cantabria); A.LLoret (CEDEX); S.Castanedo (IH Cantabria); A. Alvarez (CEDEX); F. Méndez (IH Cantabria); M. Rodrigo (CEDEX), P. Lomónaco (IH Cantabria); F. Vila (CEDEX)

RESUMEN

El caudal de agua desalinizada en España se ha incrementado muy significativamente en los últimos años, lo que ha hecho aumentar también el caudal de salmuera vertida al mar, principalmente en las costas mediterráneas, donde existen especies marinas protegidas, como la Posidonia oceanica y la Cymodocea nodosa, que son sensibles al exceso de salinidad característico de la salmuera. La salmuera, por su mayor densidad, se comporta en el medio marino como un efluente de flotabilidad negativa, hundiéndose hacia el fondo y aumentando el riesgo de afección sobre las especies bentónicas ya citadas. Hasta el momento, existe un vacío legal respecto a los límites de emisión y normas de calidad en relación con la salmuera, de modo que se toman como referencia los umbrales críticos de salinidad establecidos por la Comunidad científica para diferentes ecosistemas marinos. Tampoco existe ninguna metodología para el diseño de los sistemas de descarga, el estudio del comportamiento del vertido y el establecimiento de medidas preventivas y correctoras adecuadas a este tipo de efluentes hiperdensos.

En la siguiente comunicación escrita se presenta, y muestran los primeros resultados, del proyecto de I+D+i, "MEDVSA", cuyo objetivo es desarrollar un metodología de diseño de los vertidos al mar de la salmuera, para reducir el impacto ambiental sobre el medio marino. El fin último es compatibilizar el uso de la desalinización como fuente de recurso hídrico con la protección de la biodiversidad marina, según los principios de desarrollo sostenible.

En el proyecto, coordinado por el Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino, colaboran dos importantes Centros de investigación en el área de la contaminación marítima: El Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria, y el Centro de Estudios de Puertos y Costas del CEDEX.

El proyecto MEDVSA incluye múltiples tareas: análisis de los modelos comerciales más utilizados para simular los vertidos de salmuera; programación de herramientas online de modelización "MEDVSA" para diferentes configuraciones de descarga; ensayos experimentales con técnicas convencionales y técnicas ópticas avanzadas (PIV-LIF), considerando nuevas variables ambientales como la corriente y el oleaje; modelización del campo cercano y lejano con modelos CFDs y oceanográficos avanzados; selección de escenarios probabilísticos en el medio receptor; y ejecución de campañas de medidas en plantas desaladoras reales para validar los modelos y metodología.

Toda la información y herramientas derivadas se integrarán en una Guía Metodológica, que incluya los aspectos y pasos a considerar en el diseño de estos vertidos, utilizando el conocimiento científico y las técnicas más avanzadas en la actualidad. Los resultados del proyecto serán públicos y de acceso gratuito a través del Portal Web: www.medvsa.es.

El objeto de la presente Comunicación Técnica para el X Congreso Nacional de Medio Ambiente es presentar el proyecto MEDVSA, como una herramienta que se está desarrollando para mejorar los diseños de vertidos al mar de salmuera, y ofrecer una herramienta en los Estudios de Impacto Ambiental de este tipo de vertido.

En las próximas secciones, se describirá el objeto y tareas que componen el proyecto, describiendo con más detalle los primeros resultados. **Estos primeros resultados son de gran interés para promotores y diseñadores de plantas desalinizadoras, así como a las Administraciones Públicas responsables de evaluar ambientalmente el proyecto y garantizar la protección del medio marino frente a los vertidos de salmuera. Por esta razón se presentan en este Congreso como una herramienta de**

contribución a la conservación de la biodiversidad en el medio marino, que se irá mejorando con ayuda de la opinión y sugerencias de usuarios.

Palabras Clave: desalación; impacto ambiental; salmuera; biodiversidad marina; vertidos; Mar Mediterráneo

1. INTRODUCCION. JUSTIFICACION

La producción de agua desalinizada, como fuente de Recurso Hídrico, ha aumentado muy significativamente a nivel mundial, principalmente en zonas costeras con irregularidades o insuficiencia de fuentes hídricas convencionales y una demanda creciente, como es el caso de Emiratos Árabes, Israel, ciertas zonas de Estados Unidos y los países del arco Mediterráneo.

España es un país ejemplo de esta situación y el cuarto país mundial en desalación. La producción se centra principalmente en regiones con carencia de otras fuentes hídricas, como es el caso de las Islas Canarias, así como en las regiones costeras mediterráneas, zonas donde el desarrollo de la agricultura de regadío y del turismo han hecho aumentar de tal modo la demanda, que las fuentes hídricas convencionales, por otra parte sobreexplotadas, ya no son suficientes.

En España la mayor parte de las plantas desaladoras utilizan como fuente de alimentación, agua marina. Entre las Tecnologías de desalación disponibles, si bien las primeras plantas se basaban en procesos térmicos (principalmente del tipo MSF), en la actualidad no sólo en España sino también a nivel mundial, la osmosis inversa se impone como principal tecnología.

En los procesos de osmosis inversa, el agua marina de alimentación de la planta se somete a un pretratamiento que incluye: desbaste, decantación, adicción de aditivos químicos, filtración y microfiltración. Posteriormente, mediante un sistema de bombeo de alta presión, se le dota al agua pre-tratada de la presión necesaria (70 – 80 atm) para invertir el proceso natural de osmosis en su paso a través de las membranas semipermeables arrolladas en espiral. De las membranas, donde tiene lugar la RO, se obtiene el efluente producto, que es agua desalinizada, y un subproducto de solución hiperconcentrada que se denomina salmuera.

Las tasas de conversión de las plantas de osmosis son generalmente del 40 – 50%, lo que significa que los volúmenes obtenidos de agua desalinizada y salmuera son prácticamente iguales. La salmuera, que no presenta diferencias significativas de temperatura respecto del agua del mar, tendrá una salinidad prácticamente doble al agua de mar, y concentraciones traza de las sustancias químicas utilizadas como aditivos.

Debido a los grandes caudales de salmuera generados en las plantas desaladoras actuales, la única alternativa de gestión viable es su vertido al mar. Al ser más salina, la salmuera es también más densa que el agua del mar receptora, por lo que el vertido se comporta como un efluente de flotabilidad negativa, hundiéndose hacia el fondo. Este hecho determina el comportamiento de la salmuera y sus particularidades, así como las dificultades en su modelización matemática.

El vertido al mar de la salmuera puede tener efectos negativos sobre la calidad de las aguas y los ecosistemas marinos, especialmente sobre aquellos bentónicos de carácter estenohalino, es decir, con una baja tolerancia a variaciones de salinidad en el medio. Estudios realizados en el Mar Mediterráneo (1) revelan la afección de los vertidos de salmuera sobre las fanerógamas marinas *Posidonia oceanica* y *Cymodocea nodosa*, protegidas como ecosistemas de interés comunitario.

Actualmente existe un vacío legal respecto a los valores límites de emisión y los objetivos de calidad en el medio receptor en lo relativo a vertidos de aguas de rechazo de las plantas desaladoras. Sin embargo, la comunidad científica en base a estudios en laboratorio y *ad hoc* ha establecido límites críticos de salinidad para algunas de las especies más relevantes (2,1). Por otra parte, por ser un tema relativamente novedoso, no existe una metodología ni herramientas que garanticen el rigor técnico y científico en los Estudios de Impacto Ambiental y evaluaciones para estos vertidos de salmuera.

El proyecto de I+D+I, de desarrollo experimental, "MEDVSA", subvencionado por el Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino de España, y donde colaboran conjuntamente el Instituto de Hidráulica de Cantabria (IH Cantabria) y el Centro de Experimentación de Obras Públicas (CEDEX), tiene como objetivo desarrollar una metodología de mejora del diseño y estudios de vertido al mar de la salmuera, con el fin de reducir el riesgo de impacto sobre el medio marino y garantizar su conservación sostenible, frente al desarrollo del sector desalación.

2. IMPORTANCIA DE LA DESALINIZACIÓN EN ESPAÑA. CARACTERÍSTICAS DEL PRODUCTO Y SUBPRODUCTO DE LA DESALINIZACIÓN.

La producción de agua desalinizada en España se ha incrementado significativamente en los últimos años, según se muestra en la tabla 1 (3).

Año	CAUDAL DE PRODUCCIÓN DE AGUA DESALINIZADA (Mm ³ /día)	Año	CAUDAL DE PRODUCCIÓN DE AGUA DESALINIZADA (Mm ³ /día)
1970's	0.03	2000	1.2 (750 plantas)
1980's	0.075	2005	1.5 (900 plantas)
1997	0.2	2011	3.4

Tabla 1. Evolución de la producción de agua desalinizada en España (3).

De acuerdo con los pronósticos actuales, España se convertirá en el cuarto país en cuanto a capacidad de desalación, una vez que se cumplan con los objetivos del Plan Hidrológico Nacional.

La tendencia actual y futura respecto a tecnología de desalación, es la preponderancia de las plantas de osmosis inversa frente a las plantas térmicas de destilación, que son las siguientes en protagonismo.

En el caso de los vertidos al Mar Mediterráneo, que son el objeto del proyecto “MEDVSA”, para una tasa de conversión del 45%, las características del agua marina, el agua producto desalinizada y la salmuera serían las reflejadas en la Tabla 2 (referidas a la desalinización de 1litro de agua marina del Mar Mediterráneo):

MAGNITUD	AGUA MARINA	AGUA DESALADA	SALMUERA
<i>Volumen (L)</i>	1	0,45	0,55
<i>Salinidad (psu)</i>	≈ 37.5	≈ 0	≈ 68.2
<i>Temperatura (°C)</i>	15 - 27		15-27
<i>Densidad (Kg/m³)</i>	1027.5 - 1024	1000	1051 - 1047

Tabla 2. Características del agua marina en el Mediterráneo, y del agua producto y de la salmuera de un proceso de desalación por osmosis inversa.

3. COMPORTAMIENTO EN EL MAR DE LA SALMUERA. EFECTOS SOBRE ECOSISTEMAS MARINOS DEL MAR MEDITERRÁNEO.

Para evaluar los posibles impactos sobre el medio marino de los vertidos de salmuera, es necesario comprender su comportamiento, que dependerá tanto de las propiedades físico químicas del efluente salmuera, como del diseño del dispositivo de descarga y de las condiciones ambientales en el medio receptor, tanto respecto a morfología como a clima marítimo.

En el estudio del comportamiento en el mar de la salmuera, y este es el punto de partida de cualquier estudio relacionado con la minimización del impacto, se distinguen las regiones de campo cercano y campo lejano.

El **campo cercano** es la zona alrededor del vertido, o zona de mezcla inicial, donde el comportamiento del efluente depende fundamentalmente de los parámetros de descarga y de las propiedades físicas del efluente y del fluido ambiental. En esta zona se produce el mayor grado de dilución de la salmuera, debido a los procesos turbulentos generados por la diferencia de velocidades entre el efluente y el medio receptor. En esta zona el movimiento advectivo y los procesos de mezcla se producen en escalas espaciales y temporales pequeñas, del orden de metros y de minutos.

El **campo lejano** es la zona alejada del punto de vertido, donde la salmuera forma una corriente de gravedad que se desplaza sobre el fondo marino siguiendo las líneas batimétricas. El comportamiento y la mezcla de la salmuera en esta zona depende principalmente de las condiciones en el medio receptor (corrientes, estratificación de densidad) y de la diferencia de densidad entre la pluma hipersalina y el medio receptor. La pluma hipersalina que se forma, va avanzando aumentando su ancho por esparcimiento lateral, a la vez que disminuye su espesor (4). En esta región los fenómenos ocurren en escalas más grandes, del orden de kilómetros y de horas.

En la Figura 1 se presenta un esquema donde pueden distinguirse estas dos regiones para un vertido en el mar de salmuera, mediante chorro sumergido individual.

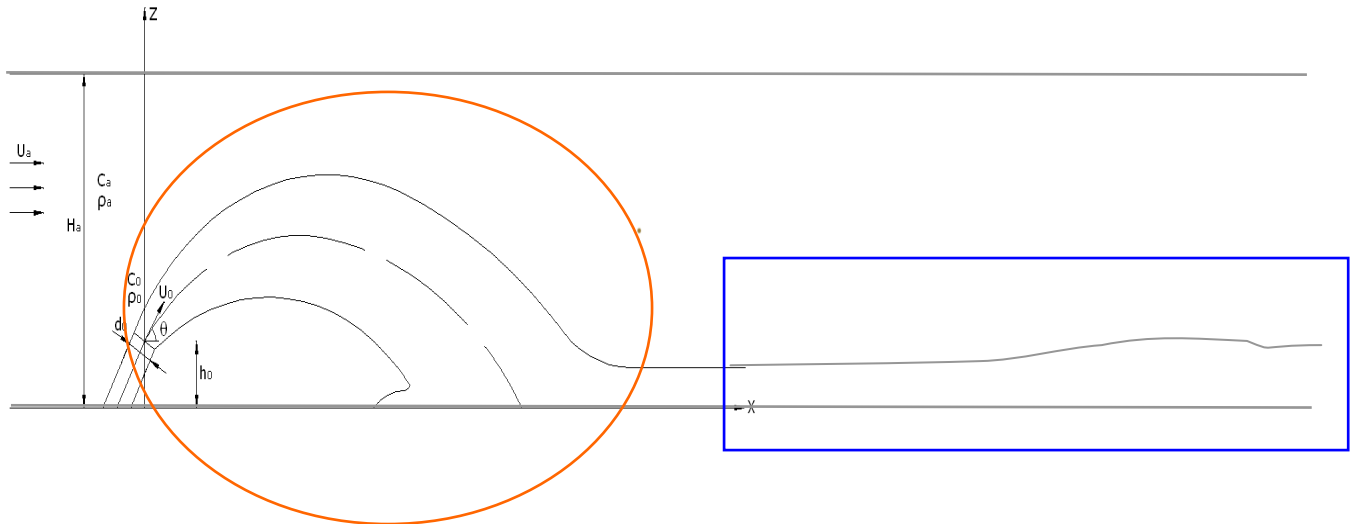


Figura 1. Características del agua marina en el Mediterráneo, y del agua producto y de la salmuera de un proceso de desalación por osmosis inversa. El círculo naranja representa la zona de campo cercano, mientras que en el rectángulo azul, la salmuera presenta el comportamiento típico del campo lejano.

El desplazamiento de la salmuera en campo lejano como una corriente de gravedad sin apenas dilución supone un riesgo importante de impacto sobre el medio marino. Para garantizar su protección es necesario conocer los objetivos de calidad del medio receptor respecto al exceso de salinidad u otras propiedades características de la salmuera.

De acuerdo con lo ya comentado, ante el vacío legal existente, la comunidad científica ha realizado estudios, fruto de los cuales se han establecidos umbrales críticos de salinidad para las especies más relevantes del Mar Mediterráneo. La tabla 3 (2) recopila los límites de salinidad obtenidos para distintos ecosistemas marinos mediterráneos:

ECOSISTEMA	LIMITE SALINIDAD	FUENTE
<i>Posidonia oceanica</i>	No superar 38.5psu en más del 25% de las observaciones. No superar 40psu en más del 5% de las observaciones	1
<i>Cymodocea nodosa</i>	No superar 39.5psu en más del 25% de las observaciones. No superar 41psu en más del 5% de las observaciones.	5
<i>Caulerpa prolifera</i>	Límite establecido en el rango aproximado de 50-60 psu.	6
<i>Paracentrotus Lividus</i> <i>Leptomysis posidoniae</i>	Límite Establecido en un valor aproximado de 41g/l	7
<i>Zostera noltii</i>	Límite establecido en aproximadamente 41 psu.	8

Tabla 3. Umbrales críticos de salinidad estimados por diferentes investigaciones científicas, para ecosistemas marinos presentes en el Mar Mediterráneo.

Entre los ecosistemas del Mediterráneo, destacan especialmente la praderas de fanerógamas marinas *Posidonia oceanica*, especie endémica de gran valor, con múltiples funciones ecológicas y protegida por la legislación europea como hábitat natural de interés comunitario. Se trata de una especie estenohalina, cuyos límites críticos de salinidad fueron establecidos en base a estudios en laboratorio y en campo, en plantas desaladoras reales. Otra especie también muy importante y también sensible a variaciones de salinidad es la fanerógama *Cymodocea nodosa*.

La figura 2 muestra una imagen de estas angiospermas en el Mar Mediterráneo.



Figura 2. *Posidonia oceanica* (derecha) y *Cymodocea nodosa* (izquierda) en el Mar Mediterráneo

La figura 3 muestra un fondo de playa con manchas de *Posidonia oceanica*, así como los ribazones y hojas de la *Posidonia*, en una playa de Cerdeña.

Figura 3. Manchas de *Posidonia* en el perfil sumergido de playa y ribazones en la playa emergida



De acuerdo con lo anterior, existe un crecimiento exponencial de la desalación en España y del caudal de salmuera vertido al Mediterráneo. Además, hay evidencias científicas de la afección por salmuera a organismos bentónicos protegidos, y, por otra parte, existe un vacío legal en lo relativo a este tipo de vertidos (2). Además de lo anterior, es destacable la falta de herramientas metodológicas de optimización del diseño del sistema de descarga de salmuera y de valoración del posible impacto sobre los ecosistemas marinos. Estas carencias conllevan a la aplicación de criterios no homogéneos en diseño y a la falta de consenso en cuanto a metodología, lo que implica riesgos en la garantía de protección del medio marino frente a este tipo de vertidos.

4. PROYECTO "MEDVSA".

A la luz de estas carencias **se ha planteado el proyecto "MEDVSA", a fin de ofrecer una metodología que tenga en cuenta todos los aspectos técnicos y ambientales importantes en la correcta gestión de la salmuera.** El proyecto se ha planteado con un enfoque ajustado a la realidad de nuestras costas, especialmente del Mar Mediterráneo, como principal receptor de la salmuera de las grandes plantas desalinizadoras y como refugio de importantes ecosistemas bentónicos sensibles al exceso de salinidad.

El proyecto I + D + i "MEDVSA", financiado por el Ministerio español de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, tiene como objetivo último hacer compatible el uso de la desalinización como fuente de recurso hídrico en ciertas zonas del litoral español, con la protección y conservación del medio marino, siguiendo los principios de Desarrollo Sostenible establecidos en la Cumbre de la Tierra de Río de Janeiro.

Dos importantes centros de investigación españoles en materia de ingeniería de costas y de medio ambiente están colaborando en este proyecto: el Instituto de Hidráulica Ambiental de Cantabria (IH Cantabria) y el Centro de Experimentación de Obras Públicas (CEDEX).

"MEDVSA" incluye varias tareas a fin de investigar en los diferentes campos de interés en los que se ha detectado la necesidad de un conocimiento más profundo en la materia. La figura 3 (10) muestra un diagrama de todas las tareas que incluye el proyecto, incluida una Guía Metodológica de carácter gratuito que integrará el conocimiento, la metodología y las herramientas desarrolladas en el marco del proyecto:

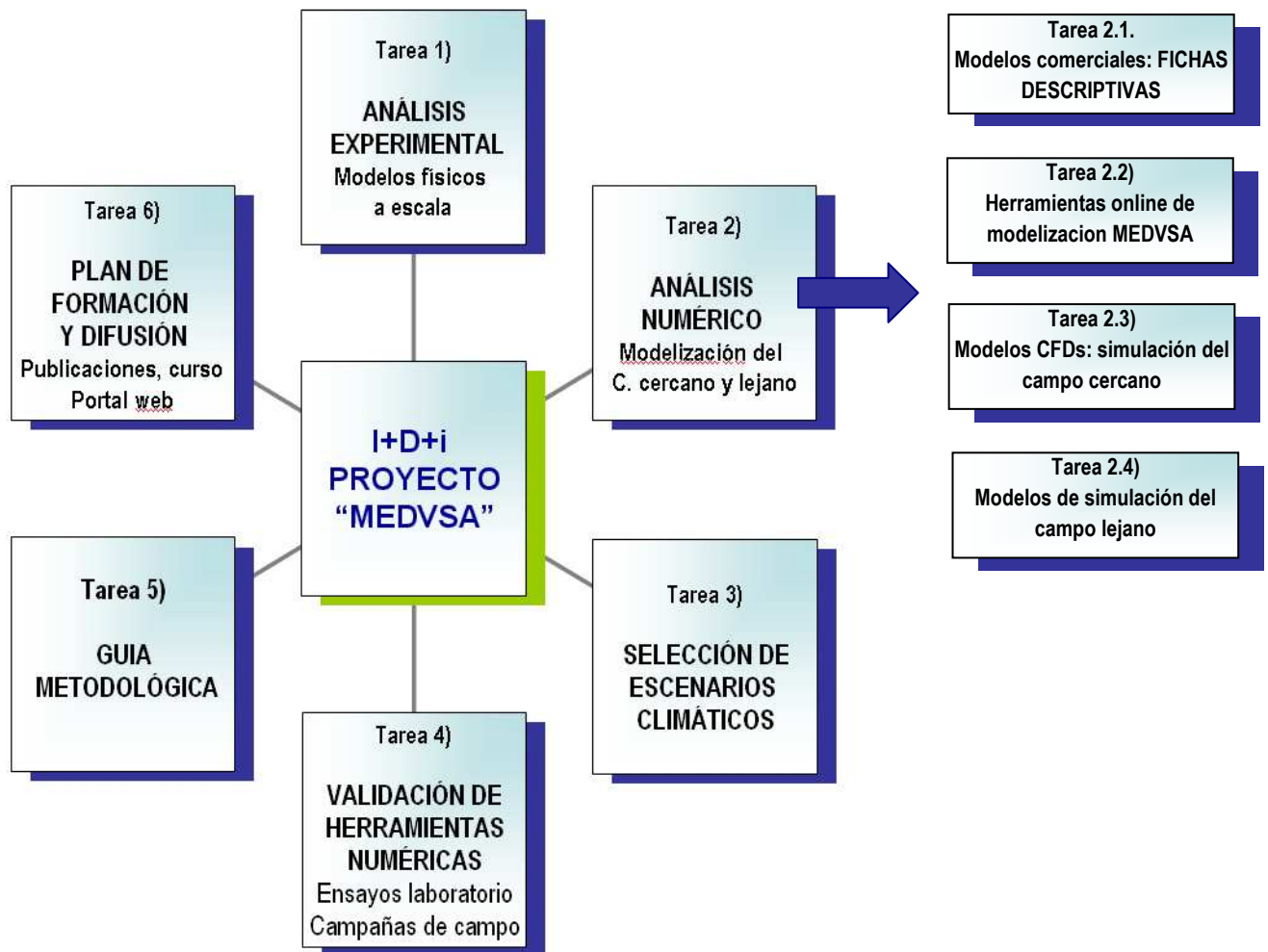


Figura 4. Tareas del proyecto MEDVSA.

En los apartados de la sección 4 se describen brevemente cada una de las tareas expuestas en el diagrama anterior. La sección 5 se dedica a la descripción más detallada y la presentación de los primeros resultados relativos a la tarea 2 de modelado numérico. Estos resultados aluden a las subtareas 2.1) y 2.2), y constituyen herramientas que pueden ser muy útiles a promotores y diseñadores de plantas desalinizadoras, así como a las Administraciones Públicas responsables de evaluar ambientalmente el proyecto y garantizar la protección del medio marino frente a los vertidos de salmuera.

4.1. INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL: MODELOS FÍSICOS A ESCALA.

Esta tarea consiste en la realización de una gran batería de ensayos en modelo físico bajo diferentes configuraciones de vertido de salmuera, incluyendo el efecto de un medio receptor en movimiento (oleaje y corrientes), realizando la toma de medidas mediante técnicas convencionales. Por otra parte, y para un conocimiento más profundo de la física del chorro sumergido (como sistema que optimiza la dilución del efluente en campo cercano), se han diseñado ensayos con mediciones realizadas por técnicas ópticas PIV-LIF, que se ejecutarán en el Laboratorio del IH Cantabria.

A continuación se describen brevemente los ensayos incluidos en la Tarea 1 de Investigación experimental.

4.1.1. Campo cercano. Descarga directa en playas (incluyendo desembocaduras de canales y ramblas)

Los resultados experimentales obtenidos por el CEDEX hasta el momento indican un grado de dilución muy pequeño en el caso de medio receptor en reposo (aproximadamente 3:1). En el marco del proyecto MEDVSA, se incluirá el efecto del oleaje (con incidencia normal y oblicua) y las corrientes litorales. Se tomarán como variables de ensayo: el caudal de efluente, ancho del cauce, pendiente del fondo, altura y periodo del oleaje y dirección e intensidad del oleaje.

El objetivo será determinar el espesor y forma de la capa hiperdensa del fondo.

4.1.2. Campo cercano. Ensayos de vertidos por rebose desde acantilados.

Este tipo de vertido es una alternativa de bajo costo económico para plantas desaladoras situadas en la parte superior de los acantilados costeros. Algunos resultados preliminares indican diluciones del orden de 14:1, en el caso de medio receptor en reposo. El proyecto MEDVSA ampliará los ensayos existentes, considerando nuevas variables como son la velocidad de salida del efluente, el ancho y altura del vertido, el calado en la zona de vertido, la altura de oleaje (perpendicular a la costa) y la intensidad de la corriente (paralela a la costa).



Figura 5. Vertido por rebose desde acantilado

4.1.3. Campo cercano. Vertidos sumergidos a través de emisarios submarinos

Este tipo de vertido es el que se realiza a través de emisarios submarinos, ya sea con tramo difusor final o a través de una sola boca de descarga. Experimentalmente se ha comprobado que es el sistema con el que se obtiene una dilución más alta en espacios reducidos. En el MEDVSA se ampliarán estos estudios considerando un medio receptor en movimiento (corrientes), estudiando el efecto del choque con la superficie y el fondo, y la interacción o solape entre chorros contiguos en un vertido mediante tramo difusor.

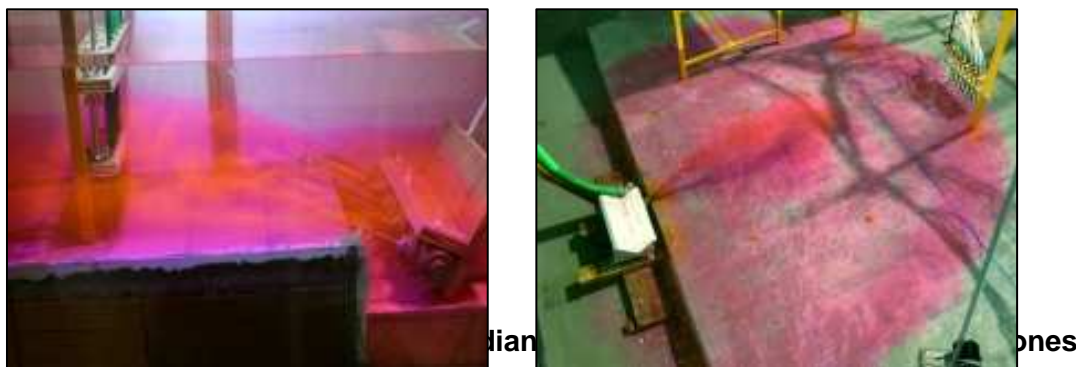


Figura 6. Modelo físico de vertido sumergido mediante chorro individual o chorros múltiples

Para mejorar el conocimiento de la física del fenómeno en el caso de un vertido sumergido mediante chorro, se han diseñado una serie de ensayos utilizando las más avanzadas técnicas ópticas LIF (Fluorescencia inducida por láser) y PIV (Particle Image Velocimetry), que permiten caracterizar los campos de concentraciones y velocidades del flujo. En estos ensayos no se estudiará el caso de un medio receptor en movimiento

El objetivo será comprender el comportamiento de los chorros de salmuera, y calibrar modelos numéricos complejos CFDs, que permitirán simular cualquier configuración de vertido y escenario.

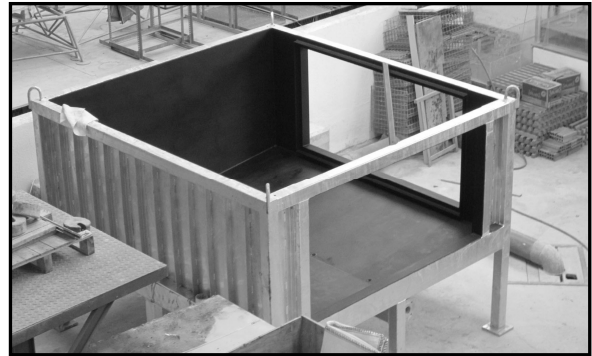


Figura 7. Tanque para ejecución ensayos con técnicas ópticas

4.1.5. Campo lejano

El objetivo de estos ensayos es estudiar las características del efluente hipersalino en la zona alejada del vertido, donde el comportamiento no depende ya de los parámetros de descarga sino de la diferencia de densidad entre el efluente y el medio receptor, y de las condiciones ambientales. Por lo tanto, este estudio es común a cualquier dispositivo de descarga, ya que en todos ellos el resultado final es la formación de una capa hiperdensa que se desplazará sobre el fondo marino.

Los resultados de anteriores estudios realizados por el CEDEX para un medio receptor en reposo indican que la dilución se produce de forma muy lenta (menos de 1:2 varios centenares de metros), debido principalmente a una diferencia de densidad alta entre el efluente y el medio receptor. En el marco del proyecto MEDVSA se incluirá el efecto de las corrientes sobre la trayectoria y dilución de la pluma hipersalina.

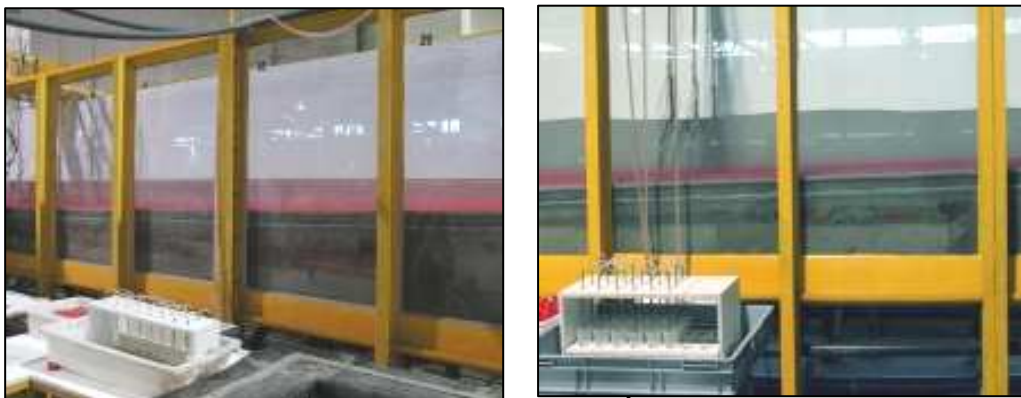


Figura 8. Modelo físico de pluma hipersalina característica del campo lejano.

4.2.1. Herramientas comerciales de modelización de vertido de salmuera. FICHAS DESCRIPTIVAS

Con el fin de mejorar el conocimiento de la base teórica y el uso de las herramientas comerciales utilizadas por los promotores y las autoridades ambientales para la simulación de este tipo de vertidos hiperdensos, se han estudiado y analizado en profundidad los software de mayor uso: CORMIX, VISUAL PLUMES y VISJET. Como resultado de este estudio se han elaborado una serie de FICHAS DESCRIPTIVAS, para todos los submodelos aplicables a este tipo de efluentes.

En la sección 5 se describen en más detalle las Fichas Descriptivas de los software de modelización comerciales, dado que es una tarea ya concluida, y que constituyen una herramienta de gran utilidad en el diseño y evaluación ambiental de los vertidos al mar de salmuera.

4.2.2. Herramientas online de modelización “MEDVSA”.

Analizados los software comerciales más utilizados en la simulación de vertidos al mar de salmuera, se han detectado y comprobado importantes limitaciones y errores en ciertos casos, así como una carencia muy significativa de estudios de validación en su aplicación a efluentes de flotabilidad negativa.

Como una alternativa a los software comerciales, se han programado y recalibrado algunos de sus códigos, recalibrándolos y validándolos con nuevos ensayos, generando las denominadas herramientas de modelización online “MEDVSA”.

En la sección 5 se describen en detalle las herramientas ya programas, puesto que constituye una tarea finalizada, y ofrece herramientas públicas y gratuitas, que permiten para los casos de diseño más frecuentes independizarse de los modelos comerciales de simulación.

4.2.3. Modelos CFDs eulerianos y lagrangianos de simulación de Campo Cercano.

Para la simulación en detalle del campo cercano, bajo diferentes configuraciones de vertido, se propone el uso de un modelo numérico tridimensional del flujo: IH-3VOF (11), desarrollado en el IH Cantabria, que resuelve las ecuaciones de Navier-Stokes, en sus versiones RANS (Reynolds promediado de Navier-Stokes) y LES (Large Eddy simulación). Para hacer viable la simulación del vertido de salmuera, se desarrollará una versión modificada del código, añadiendo las ecuaciones de transporte y advección particularizadas al caso de efluentes hiperdensos, como la salmuera.

IH-3VOF resuelve el flujo en medios porosos con las ecuaciones VARANS y utiliza como modelos de cierre de los términos turbulentos, los modelos k- ϵ y LES. Por otra parte, permite la generación de ondas de superficie y de corrientes simultáneamente. Las ecuaciones se discretizan mediante la técnica de volúmenes finitos, y permite el diseño de malla estructuradas y no estructuradas. Todas estas características hacen de la IH-3VOF una herramienta ideal para simular la descarga al mar de la salmuera.

Por otra parte, se investigará la aplicación al campo cercano de modelos lagrangianos SPH (*Smoothed Particles Hydrodynamics*) de partículas. El análisis incluirá las tareas:

a) Recopilar, revisar y analizar la información existente sobre modelación con técnicas SPH de procesos hidráulicos con superficie libre y de procesos de difusión. b) Formar a uno de los investigadores contratados en el manejo de este tipo de técnicas. Por la complejidad de la técnica, esta tarea ha consumido un tiempo considerable. c) Emplear una aplicación de investigación SPH sencilla denominada MDST y desarrollada por J.M. Grassa, Director del Centro de Estudios de Puertos y Costas y participante del proyecto. La aplicación requiere de aplicaciones externas para la generación de datos y tratamiento de resultados. Las características más destacables son: Programación estructurada en módulos, FORTRAN 90 / 95; Código común para simulaciones 2D/3D; Inclusión de dinámica de sólidos interactuando con el fluido. d) Modelizar casos sencillos de vertidos en dos dimensiones (XZ).

4.2.4. Modelos de simulación de Campo Lejano

Para modelizar el comportamiento en campo lejano del vertido de salmuera se utilizará el modelo ROMS (Regional Ocean Modeling System) (Shchepetkin and McWilliams, 2005; Penven et al., 2006). Se trata de un modelo numérico tridimensional de código abierto y carácter gratuito, en el que se resuelven las ecuaciones de movimiento y transporte. El algoritmo temporal que utiliza el ROMS se basa en el método split- explicit, en el cual el modo barotrópico y el baroclínico son calculados y acoplados de forma especial. Tanto el modo 2D como el 3D son calculados mediante un esquema predictor (leap-frog)- corrector (Adams- Molton) de cuarto orden, de gran robustez y estabilidad. El modelo ROMS ofrece una gran cantidad de posibilidades respecto a la discretización del espacio, los modelos de turbulencia y la resolución de las ecuaciones diferenciales. El modelo se ha aplicado con éxito en la descripción de fenómenos costeros (12).

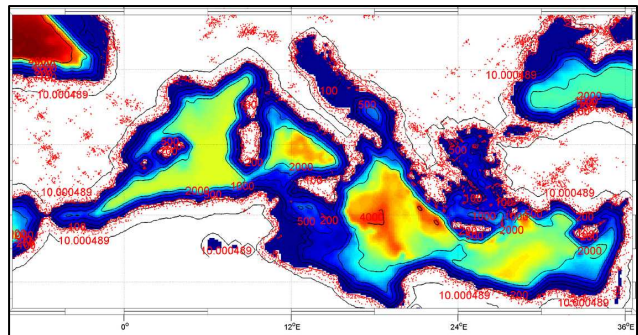


Figura 9. Malla del Mar Mediterráneo

Se comenzará reproduciendo casos sencillos de laboratorio. A continuación se simulará con ROMS el comportamiento de una pluma hipersalina real, considerando la batimetría y las condiciones ambientales y comparando los resultados numéricos de ROMS con las medidas de campañas de campo diseñadas para tal fin. Como resultado de todo lo anterior, se ofrecerá una metodología para modelizar el comportamiento de la pluma hipersalina de salmuera en campo lejano.

4.3. ESCENARIOS CLIMÁTICOS.

El comportamiento en el mar de un vertido de salmuera depende de los parámetros de descarga, de las características del efluente y de las **condiciones ambientales en el medio receptor**, que influyen en la trayectoria y dilución del efluente principalmente en la región de campo lejano. Para que un diseño de vertido ofrezca garantía de proteger el medio marino ha de garantizarse el cumplimiento de los objetivos de calidad bajo los diferentes escenarios realistas que puedan darse durante la vida útil de la planta, asociando a cada escenario una determinada probabilidad de ocurrencia.

La caracterización en el marco del proyecto MEDVSA del clima marítimo en el Mar Mediterráneo comenzará con el análisis de las bases de datos de variables climáticas y atmosféricas, completando series de datos lo más largas posibles. A continuación, se realizará mediante el modelo ROMS un proceso de aumento progresivo de resolución (“downscaling”), partiendo de una malla tridimensional que cubra el Mar Mediterráneo, con resolución de $1/8^\circ$ y discretización vertical. Los resultados obtenidos en cada una de las celdas de esta gran malla se utilizarán como condiciones de contorno de mallas con mayor resolución a medida que nos acercamos a la costa mediterránea española, anidando unas mallas con otras. Las mallas finales del proceso tendrán celdas de dimensiones horizontales de unos 50-100 m y capas verticales en el fondo de la columna de agua de unos 10cm, y abarcarán las zonas de la costa mediterránea española donde existan plantas desaladoras o esté previsto que existan. En cada una de las celdas se tendrán datos de corrientes, de temperatura y de salinidad, que podrán utilizarse para la modelización del comportamiento de la pluma hipersalina en cada proyecto, bien mediante un modelo simplificado (a nivel de anteproyecto) o mediante un modelo hidrodinámico más complejo tipo ROMS (a nivel del proyecto).

Obtenidas del proceso de downscaling, las series temporales de las variables ambientales influyentes, se seleccionarán los **escenarios de vertido representativos** de variables multidimensionales. Para esto, se investigará la aplicación de algoritmos de clasificación basados en redes neuronales autoorganizativas (SOM) y algoritmos de selección (MDA, Maximum Dissimilitude Algorithm), que constituyen potentes herramientas de clasificación de conjuntos de datos multidimensionales (13).

En la selección de escenarios se seguirán los siguientes pasos: 1) identificar la escala temporal: patrón de repetición de las variables influyentes y obtener el periodo representativo de una situación que se repetirá en el tiempo; 2) seleccionar los escenarios representativos mediante la metodología SOM y el algoritmo MDA; 3) Analizar estadísticamente la variabilidad de los escenarios generados por la SOM; 4) Validar la metodología 5) Aplicar finalmente la metodología a un caso real.

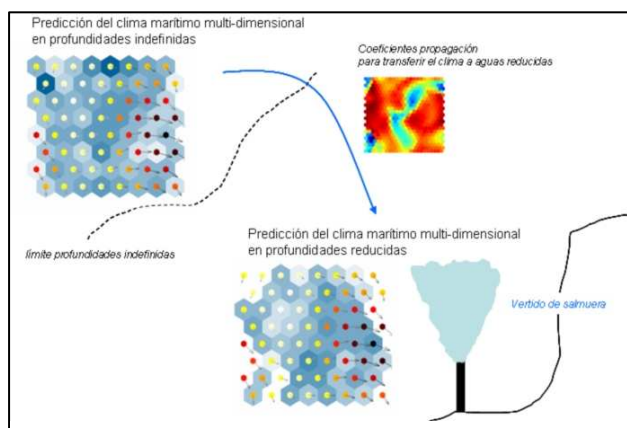


Figura 10. Proceso de propagación del clima marítimo multidimensional en el Mar Mediterráneo

4.4. VALIDACIÓN DE LAS HERRAMIENTAS DE SIMULACIÓN

Para validar las herramientas de simulación y la metodología de diseño propuestas, se realizarán una serie de campañas de medidas en plantas desaladoras en funcionamiento, incluyendo caracterización de la geometría y del campo de salinidades, así como medición de las variables en el medio receptor. Se han planificado en total de ocho campañas: dos para cada uno de los sistemas de vertido cuyo estudio en campo cercano ha sido propuesto. En todas las campañas se tomarán medidas además en puntos alejados del vertido para que puedan validarse también los resultados correspondientes al campo lejano



Figura 11. Campaña de campo en vertido real de planta desaladora

La base de datos resultante de las campañas experimentales en laboratorio y en el campo constituye una referencia fundamental para cumplir cuatro objetivos:

- 1) mejora del entendimiento sobre los procesos y variables más relevantes que intervienen en el vertido y su comportamiento
- 2) calibrado y validado de los software de modelización comerciales y las herramientas de modelización online “MEDVSA”
- 4) Validar los resultados de los modelos físicos y de las formulaciones basadas en análisis dimensional.

Los datos de campo y laboratorio serán sometidos a un exhaustivo control de calidad que garantice su validez para los objetivos propuestos. A partir de la base de datos se podrán hacer estudios paramétricos, ajuste de formulaciones semi-empíricas, análisis de posibles efectos de escala y calibración y validación de los modelos.

4.5. GUÍA METODOLÓGICA.

El objetivo principal de MEDVSA es ofrecer una metodología y técnica para el diseño de los vertidos al mar de salmuera, que permita compatibilizar el desarrollo de la desalinización como fuente de recurso hídrico con la garantía de protección y conservación de los ecosistemas del medio marino en el ámbito del Mar Mediterráneo, con el fin de contribuir a un desarrollo más sostenible.

Llegados a la última tarea de este proyecto, se tendrá un conocimiento profundo sobre el comportamiento de la salmuera en campo cercano y lejano, los dispositivos de vertido y la influencia de las variables ambientales. Se dispondrá de nuevas herramientas, de modelización, de datos de modelado físico y campañas de campo para validación. Sobre

la base del conocimiento adquirido en el desarrollo del proyecto y la experiencia previa de ambas instituciones (IH Cantabria y CEDEX), **se realizará un análisis integrado con el fin de desarrollar la mejor metodología y técnica posibles para el diseño de los sistemas de vertido al mar de las aguas de rechazo de las desaladoras.**

Como documento recopilatorio y síntesis de toda la información generada, se redactará una **Guía Metodológica**, que será el hito fundamental del proyecto. En esta guía se describirán los pasos a seguir en el diseño y estudio del vertido al mar de la salmuera, bajo el enfoque de reducir su impacto sobre el medio marino y garantizar el cumplimiento de los objetivos de calidad establecidos para protección de los ecosistemas.

4.6. PLAN DE FORMACIÓN Y DIFUSIÓN

El espectro de beneficiarios del proyecto “MEDVSA” incluye promotores y administraciones nacionales, así como internacionales. Su difusión se realizará a través de publicaciones en revistas técnicas y científicas, el envío de comunicaciones a Congresos nacionales e internacionales relacionados con el tema, así como la realización de un curso formativo en la materia.

Como complemento a toda lo anterior, se ha desarrollado también un Portal web (9) ya disponible al usuario: www.medvsa.es, donde se incluirá toda la información de interés, los documentos generados en casa tarea, la Guía Metodológica, Publicaciones, etc. En la actualidad parte de esta información ya está disponible, lo que se explica en más detalle en la sección 5 de esta Comunicación Técnica.



Figure 12. Portal del proyecto MEDVSA: www.medvsa.es

5. INVESTIGACIÓN Y ANÁLISIS NUMÉRICO.

5.1. Análisis de las herramientas software de modelización de vertidos de salmuera.

Con el fin de mejorar el conocimiento de la base teórica y el uso de las herramientas comerciales utilizadas por los promotores y las autoridades ambientales para la simulación de este tipo de vertidos hiperdensos, se han estudiado y analizado en profundidad los software de mayor uso: CORMIX (14), VISUAL PLUMES (15) y VISJET (16). Como resultado de este estudio se han elaborado una serie de FICHAS DESCRIPTIVAS, para todos los submodelos aplicables a este tipo de efluentes.

La Tabla 4 indica cada una de las Fichas Descriptivas que se han elaborado, señalado las teóricas, los software analizados y los distintos modelos de casa software:

BASE TEÓRICA GENERAL	Software CORMIX	Software VISUAL PLUMES	Software VISJET
- Ficha General de teoría de chorros y plumas - Ficha introducción a las Fichas Descriptivas	Cormix - Ficha general Cormix 1 Cormix 2 D-Cormix Corjet	Visual Plumes - Ficha General UM3, DKHW	JetLag

Tabla 4. Fichas Descriptivas de comportamiento de la salmuera y modelización con los software comerciales

En cada una de las fichas se describen los siguientes aspectos, enfocados siempre a la simulación del vertido al mar de la salmuera:

- 1. Introducción. Autores. Desarrollo.
- 2. Descripción del modelo. Base teórica.
- 3. Hipótesis simplificadoras
- 4. Componentes y opciones del modelo. Posibilidades y limitaciones.
- 5. Análisis de sensibilidad frente a variaciones en los parámetros de entrada
- 6. Calibración y validación del modelo presentadas por los autores para efluentes de flotabilidad negativa.
- 7. Validación del modelo con nuevos datos experimentales de ensayos en modelo físico.
- 8. Recomendaciones de aplicación y manejo del modelo.
- 9. Acceso al modelo y a la información, precio, instalación, manejo y tiempo computacional.

- 10. Referencias y bibliografía recomendada.

ANEXOS

- ANEXO 1. Ejemplo de aplicación del modelo a un vertido de salmuera. Uso de la interfaz.
- ANEXO 2. Tabla de rangos de valores realistas y recomendados para los parámetros de entrada al modelo, en la simulación de un vertido al mar de salmuera.
- ANEXO 3. Resultados numéricos del análisis de sensibilidad.

Las siguientes imágenes muestran ejemplos de las Fichas Descriptivas elaboradas y que ya se encuentran disponibles y se pueden descargar en formato “pdf” en el portal web del proyecto (www.medvsa.es)

1) FICHA INTRODUCCION A LAS FICHAS DESCRIPTIVAS DE LOS SOFTWARE COMERCIALES

PROYECTO I+D+i MED/VA
FICHAS GENERAL DE DESCRIPCION DE LAS FICHAS DE MODELOS COMERCIALES

FICHAS DESCRIPTIVAS DE LOS MODELOS COMERCIALES.

1. SIMULACION DE VERTIDOS AL MAR DE EFLUENTES DE FLOTABILIDAD NEGATIVA

El efluente salmuera se caracteriza por su exceso de salinidad y, por tanto, su mayor densidad con respecto al medio receptor marino, lo que implica que su flotabilidad será negativa.

En el comportamiento del vertido en medio acuoso del efluente salmuera se distinguen dos regiones fundamentales: el campo cercano y el campo lejano. El campo cercano es la zona alrededor del vertido, o zona de mezcla inicial, donde el comportamiento del efluente depende fundamentalmente de los parámetros de descarga y donde se produce la máxima dilución del efluente con el fluido del medio receptor. El campo lejano es la zona alejada del punto de vertido, donde la salmuera forma una corriente de gravedad que se desplaza sobre el fondo marino, con una dilución que depende fundamentalmente de las condiciones en el medio receptor.

Las ecuaciones que gobiernan el comportamiento del vertido de salmuera son la ecuación de Continuidad, las de Conservación de la Cantidad de Movimiento y la de Transporte o conservación de la masa de trazador. La ecuación de Estado relaciona la temperatura, salinidad y densidad, en un fluido considerado incompresible. Estas ecuaciones pueden resolverse con un enfoque euleriano o lagrangiano.

En función de las hipótesis simplificativas asumidas para el fenómeno y del planteamiento de las ecuaciones, se distinguen tres grupos principales de modelos para el cálculo del comportamiento del flujo:

- Modelos basados en el análisis dimensional del fenómeno.
- Modelos de ecuaciones integradas en la sección del flujo.
- Modelos hidrodinámicos completos.

La mayor parte de los modelos comerciales que se utilizan para la simulación del vertido al mar de la salmuera fueron diseñados originalmente para vertidos de efluentes con flotabilidad positiva, como es el caso de las aguas residuales urbanas en el mar. Posteriormente han adaptado sus códigos al caso de efluentes de flotabilidad negativa. Sin embargo, uno de las principales carencias detectadas en estos códigos se refiere a su calibración y validación en la simulación de efluentes hiperdensos, que en la mayor parte de los casos es muy escasa o inexistente.

Entre los modelos comerciales más utilizados para simular el vertido y comportamiento de la salmuera destacan los software CORMX, VISUAL PLUMES y MSJET.

Se ha realizado un estudio y análisis en profundidad de la base teórica, manejo y posibilidades de estos modelos comerciales. Como resultado se han elaborado una serie de FICHAS DESCRIPTIVAS DE

2) FICHA GENERAL DE TEORÍA DEL COMPORTAMIENTO DEL VERTIDO DE SALMUERA

FICHA GENERAL DE TEORÍA SOBRE EL COMPORTAMIENTO DEL VERTIDO DE SALMUERA

I. INTRODUCCIÓN. PRESENTACIÓN DE LA FICHA.

Se ha elaborado esta ficha general de comportamiento del vertido de salmuera como complemento a las fichas descriptivas de los modelos comerciales.

El objetivo de esta ficha general es ofrecer una introducción al campo científico del vertido de salmuera en un medio acuoso, describiendo las ecuaciones que gobiernan el fenómeno, los parámetros físicos de simulación (1), sus efectos (2), tipos de modelos (3), áreas conceptuales y aplicaciones de estos (4) dentro de un marco de la siguiente procedencia de las plantas desaladoras, su estado de salinidad y su comportamiento en el mar.

II. VERTIDO AL MAR DE EFLUENTE DE FLOTABILIDAD NEGATIVA: CAMPO CERCAÑO Y CAMPO LEJANO.

El comportamiento de un vertido de salmuera fundamentalmente de la cantidad de efluente, la forma de la zona de mezcla y de la diferencia de densidad entre el efluente y el medio receptor. Los efluentes de flotabilidad negativa son aquellos con mayor densidad que el fluido del medio receptor (agua de mar). En el caso de la salmuera procedente de las plantas desaladoras, su estado de salinidad es superior al agua de mar.

En el estudio del comportamiento de un vertido se distinguen dos regiones: el campo cercano y el campo lejano, entre las cuales se gobiernan el flujo, su comportamiento y las acciones preventivas y correctoras correspondientes.

2.1. Región de campo cercano.

Región situada en el entorno del punto de vertido, también llamada zona de mezcla inicial. Las salinidades de los plumes son superiores y las velocidades de flujo inferiores a las del medio receptor y presentan propiedades del efluente de salmuera (que salmuera es más densa).

El comportamiento del efluente depende fundamentalmente del tipo de vertido (plumero) y de las características físicas del efluente respecto al medio receptor. El tipo de vertido (plumero) puede ser de tipo: a) tipo plumero que depende de la densidad del efluente con respecto al medio receptor, que se define fundamentalmente a la diferencia de densidad entre el efluente y el medio receptor. La situación del efluente se produce por incorporación de fluido del medio receptor, proceso denominado en la bibliografía como "burbujado".

El comportamiento en campo cercano se completa, especialmente en el caso de vertidos en charcos, independientemente de las condiciones del medio receptor (altura, contenido, etc.) y de cualquier acción correctiva.

En una zona de dispersión del efluente, todo que fundamentalmente el efluente vertido se descarga directamente al medio receptor (2) (cantidad de salmuera que diluye su salinidad y genera un flujo turbulento que depende de la densidad, fundamentalmente en la zona de mezcla inicial) que de gran velocidad negativa, que, debido a su exceso de densidad del efluente hipercéntrico, puede a menudo producir flujos.

A cierta distancia de la zona de descarga, la fuerza de flotabilidad gravitacional y la fuerza de la corriente de movimiento, generando un comportamiento del efluente. Como consecuencia el efluente hipercéntrico comienza su separación de descenso (3). En la distancia al final, experimentando una situación adicional debido a la fuerza de flotabilidad y gravitación. La región situada entre la zona de impacto del efluente con el medio y la zona de campo lejano, se denomina generalmente zona de mezcla (4), aunque en sentido estricto se trata del mismo campo cercano.

La figura muestra el esquema de comportamiento de un vertido de salmuera, resaltando la zona cercana inicial.

Figura 1. Esquema de comportamiento de un vertido de salmuera, resaltando la zona cercana inicial.

Caso de vertido en charcos.

En el caso de un vertido en charcos, el efluente de salmuera se mezcla con el agua de mar, formando una zona de mezcla inicial (zona de campo cercano).

Debido a la densidad del efluente (que es mayor que la del agua de mar), el efluente se mezcla con el agua de mar, formando una zona de mezcla inicial (zona de campo cercano).

La salmuera de las salinidades en el medio receptor se dispersa, y la mezcla se produce por la turbulencia de la zona de mezcla inicial (zona de campo cercano).

En la zona de dispersión (zona de campo lejano).

La zona de dispersión de los vertidos de salmuera (zona de campo lejano) depende de la fuerza de flotabilidad y la fuerza de la corriente de movimiento en el punto de descarga en la zona de dispersión, que a su vez depende de la fuerza de flotabilidad y la fuerza de la corriente de movimiento de dispersión (zona de campo lejano).

3) FICHAS DESCRIPTIVAS DEL SOFTWARE CORMIX.

FICHA GENERAL DE CORMIX

FICHA DE CORMIX 1

PROYECTO HDH "MEDUSA"
MODELOS COMERCIALES SOFTWARE - CORMIX

CORMIX: THE CORNELL MIXING ZONE EXPERT SYSTEM

1. INTRODUCCIÓN. AUTORES

El paquete de software CORMIX nació en 1986 en la Universidad de Cornell, como proyecto subvencionado por la EPA (Environmental Protection Agency), desarrollándose en los años siguientes los subsistemas CORMIX 1, 2 y 3, en sus diferentes versiones (v1.0, v2.0, v2.1, v3.0, v3.10, v3.2). Los investigadores principales durante este periodo fueron: G.H. Jirka (Cormix1), P.J. Akar (Cormix2), G.R. Jones (Cormix3) y J.D. Nash (Tidal component). A partir de 1996, el sistema CORMIX pasa a depender del Instituto de Oregon, con el profesor R.L. Donker como investigador principal y el profesor G.H. Jirka como consejero científico. Durante estos años se publican nuevas versiones comerciales de CORMIX (v.40, v40sb, v.4.1E, v4.1G, v4.1GT, v4.1GTR, v4.2, etc.) hasta su versión más reciente: v6.0 (2009).

CORMIX es fundamentalmente un sistema de clasificación (1) que incluye además varios subsistemas para la simulación del fenómeno de vertido, bajo distintos diseños del dispositivo de descarga, tipos de fuentes contaminantes y características en el medio receptor. El programa está reconocido oficialmente por la EPA (United States Environmental Protection Agency) y es uno de los más habituales en los estudios de la EEA (European Environmental Agency) y en general en el diseño de dispositivos de vertido.

Los subsistemas han sido calibrados y validados con ensayos de laboratorio y datos de campo.

Los autores del programa estiman desviaciones entre las predicciones de CORMIX y los resultados reales de un 50%, respecto a la geometría del chorro o pluma, las concentraciones y el grado de dilución (2), para cualquier tipo de vertido y fuente simulado.

2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA CORMIX. HERRAMIENTAS.

El software CORMIX incluye distintas herramientas para la simulación de vertidos de flotabilidad positiva, neutra y negativa espaciales entre 10^{-7} y 10^4 m, y escalas temporales entre 10^1 y 10^5 s.

El sistema de clasificación de flujos de vertido de CORMIX incluye los siguientes subsistemas: Simulación de distintos dispositivos de descarga: S-CORMIX2, CORMIX3 y D-CORMIX (que aparece incorporado en los anteriores).

Categorías: Clasificación según el ángulo de inclinación del chorro de efluente, atrapamiento de la pluma en un medio estratificado, efecto de efecto COANDA, etc.

Clases de flujo: Vn, Hn, NHn, NVn, Sn y An, según tenga más comportamiento del flujo, la cantidad de movimiento, la flotabilidad, la corriente estratificación en la columna de agua, etc. Las clases de flujo son distintas en función de la clasificación final de los flujos, cada módulo incluye reglas para caracterizar el comportamiento del efluente vertido.

Para la clasificación de flujos, CORMIX utiliza técnicas de inteligencia artificial (2000 reglas) para evaluar las condiciones de la descarga y del medio receptor.

En la Tabla 1 de la página siguiente se describen brevemente los subsistemas adicionales, así como los subprogramas que utiliza el CORMIX para las tareas de clasificación, simulación del fenómeno y presentación de resultados individuales, elaboradas para los subsistemas CORMIX1, 2, 3 y D-CORMIX, y realiza una descripción mucho más detallada.

Para más información, se puede consultar la página web: <http://www.cormix.info/>, desde donde es posible descargarse el Manual de usuario y la guía de evaluación (para un periodo de un mes).

PROYECTO HDH "MEDUSA"
MODELOS COMERCIALES SOFTWARE - CORMIX

Subsistema CORMIX1 de CORMIX

VERTIDOS SUMERGIDOS MEDIANTE CHORRO INDIVIDUAL

1. INTRODUCCIÓN. AUTORES. DESARROLLO.

El subsistema CORMIX1: "Submerged single Port discharges" (1) incluido en el sistema CORMIX, se aplica a efluentes de flotabilidad positiva, negativa y neutra, descargados al medio receptor mediante chorro individual sumergido o emergido cercano a la superficie. El subsistema permite tener en cuenta las condiciones en el medio receptor (corrientes y estratificación de la columna de agua).

Los autores del programa estiman un error potencial (desviación típica) de los resultados obtenidos respecto a mediciones reales "in situ", de aproximadamente un 40-50% (2) para cualquier tipo de vertido y efluente simulado.

La presente Ficha Descriptiva se centra en la modelización de vertidos de efluentes de flotabilidad negativa, participando para el efluente salmuera. En las primeras versiones de CORMIX, la modelización de vertidos de salmuera con CORMIX1 requiera entrar en el subsistema y considerar la concentración salina como un contaminante conservativo genérico, pero en las últimas versiones (v.5 y v.6) el subsistema incluye explícitamente el efluente salmuera entre las opciones a elegir y al seleccionarlo la interfaz del CORMIX1 se adapta a este tipo de efluente.

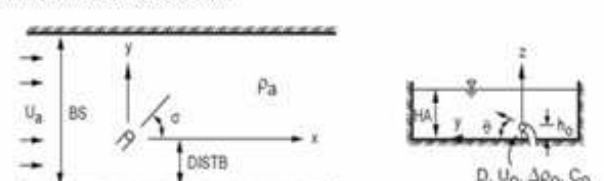
2. DESCRIPCIÓN DEL MODELO. BASE TEÓRICA

Se trata de un modelo basado en el análisis dimensional del fenómeno (ver ficha general del programa CORMIX), que incluye 35 clases de flujo diferentes y más de 25 módulos de cálculo para la caracterización de estos flujos.

En los párrafos siguientes se definen las variables consideradas en el análisis dimensional de CORMIX1 y los flujos (o variables integrales) que reúnen a los parámetros y fuerzas de mayor influencia y que gobiernan el fenómeno, despreciando aquellas que resultan menos significativas. A continuación se exponen las escalas de longitud que derivan de relacionar los flujos entre sí y con otros parámetros determinantes en el fenómeno. Finalmente, se definen las categorías de CORMIX1 y las clases de flujo que incluyen cada una de ellas, que llevarán asociadas fórmulas de cálculo semi-empíricas basadas en coeficientes experimentales, para caracterizar el comportamiento del efluente en cada una de las regiones.

2.1. Variables axiales de CORMIX1:

La Figura 1 muestra las principales variables en la simulación de vertido mediante chorro individual con el subsistema CORMIX1:



FICHA DE CORMIX 2

FICHA DE CORJET

Subsistema CORMIX2 de CORMIX-1

VERTIDO SUMERGIDO MEDIANTE CHORROS MÚLTIPLES

1.-INTRODUCCIÓN-AUTORES-DESARROLLO

El subsistema CORMIX2: *Submerged multiple discharges* (1) simula el vertido sumergido mediante chorros múltiples, con tramo difusor. Permite simular diferentes configuraciones de tramo difusor en el emisario (2) y es aplicable a chorros de flotabilidad nula, positiva y negativa. El modelo permite tener en cuenta las condiciones en el medio receptor.

Los autores del programa estiman un error potencial (desviación típica) de los resultados obtenidos respecto a mediciones reales "in situ", de aproximadamente un +A50%, para cualquier tipo de vertido y efluente simulado (3).

La presente Ficha Descriptiva se centra en la modelización de vertidos de efluentes de flotabilidad negativa, particulizando para el efluente salmuera. En las primeras versiones de CORMIX, la modelización de vertidos de salmuera con CORMIX2 requería entrar en el subsistema y considerar la concentración salina como un contaminante conservativo genérico, pero en las últimas versiones (v.5 y v.6) el subsistema incluye explícitamente el efluente salmuera entre las opciones a elegir y al seleccionarlo la interfaz del CORMIX2 se adapta a este tipo de efluente.

2.-DESCRIPCIÓN DEL MODELO. BASE TEÓRICA

Se trata de un modelo basado en el análisis dimensional del fenómeno (ver ficha general del programa CORMIX), que incluye más de 31 clases de flujo diferentes y más de 25 módulos de cálculo para la caracterización de estos flujos.

En los párrafos siguientes se definen las variables consideradas en el análisis dimensional de CORMIX2 y los flujos (o variables integrales) que reúnen a los parámetros y fuerzas de mayor influencia y que gobiernan el fenómeno, despreciando aquellas que resultan menos significativas. A continuación se exponen las escalas de longitud que derivan de relacionar los flujos entre sí y con otros parámetros determinantes en el fenómeno. Finalmente, se definen las categorías de CORMIX2 y las clases de flujo que incluyen cada una de ellas, que llevarán asociadas fórmulas de cálculo semiempíricas basadas en coeficientes experimentales, para caracterizar el comportamiento del efluente en cada una de las regiones.

En los vertidos mediante chorros múltiples, CORMIX2 distingue dos casos: chorros que no interactúan entre sí antes de alcanzar el fondo (se comportan como chorros individuales), y chorros que sí interactúan. En este último supuesto, CORMIX2 asume la hipótesis de vertido mediante ranura equivalente, que requiere la definición de nuevas escalas de longitud.

2.1-Variables axiales en CORMIX2

La Figura 1 muestra las principales variables en la simulación de vertido con chorros múltiples mediante el subsistema CORMIX2.

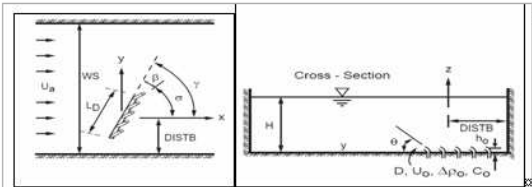


Figura 1: Planta (top) y perfil (cross-section) del vertido mediante chorros múltiples con CORMIX2.

Modelo Buoyant Jet Integral (Model) de CORMIX

RIGIDO MEDIANTE CHORRO INDIVIDUAL.

DESARROLLO.

El *Buoyant Jet Integral Model* (1,2), incluido entre los módulos de cálculo de chorros sumergidos, de flotabilidad nula, positiva, y ario submático, en un medio receptor homogéneo o estratificado,

es aplicado por CORMIX 1 para la simulación de vertido en la predicción de CORMIX indique que el chorro no interactúa. En simulación de vertidos sumergidos mediante tramo difusor, el CORJET cuando, siendo el dispositivo de vertido con elevadores de flujo, indica que no hay impacto del flujo con la superficie ni los

directamente el módulo CORJET para la simulación de un chorro sumergido de ecuaciones integradas en el eje, siempre que pueda asumirse que el medio receptor es ilimitado y que no se produce interacción del flujo con los contornos.

Los autores del programa (3) estiman un error potencial (desviación típica) de los resultados obtenidos respecto a mediciones reales "in situ", de +/-50% (3), para cualquier tipo de vertido y efluente simulado.

La presente Ficha Descriptiva se centra en la modelización de vertidos de efluentes de flotabilidad negativa, particulizando para el efluente salmuera, en el caso de vertido mediante chorro individual, dedicándose otra ficha descriptiva al caso de vertidos mediante chorros múltiples con interacción entre los mismos.

2. DESCRIPCIÓN DEL MODELO. BASE TEÓRICA.

CORJET es un modelo euleriano tridimensional, que caracteriza el comportamiento estacionario del chorro resolviendo las ecuaciones de Navier-Stokes (en su versión RANS) integrándolas en la sección transversal del chorro, de modo que se obtiene el valor de las variables de interés a lo largo del eje del mismo. La integración permite transformar el sistema de ecuaciones diferenciales en derivadas parciales en un sistema de ecuaciones diferenciales ordinarias, cuya resolución por métodos numéricos (Runge-Kutta, Euler, etc.) resulta sencilla (2). Al integrar las ecuaciones se asume que el medio receptor es ilimitado, de modo que no existe interacción del chorro con los contornos, según se explica en detalle en la sección 3 de *Hipótesis simplificadoras* de esta ficha.

El modelo es aplicable a efluentes de flotabilidad positiva, neutra o negativa y simula el comportamiento del chorro hasta el punto de impacto con la superficie o el fondo, limitándose, por tanto, al campo oceano.

Se asumen que existe autosemejanza entre secciones y para caracterizar tridimensionalmente el chorro se considera una distribución de las variables en la sección transversal de tipo Gauss, correspondiendo el valor de la media de la función de densidad al punto del eje.

Como modelo de cierre de los términos turbulentos, utiliza fórmulas semiempíricas para la difusión turbulenta y considera un coeficiente de incorporación ("entrainment") de agua del medio receptor al chorro, que incluye un término azimutal y otro transversal.

Para simular el efecto sobre el chorro de las corrientes en el medio receptor, introduce un término de arrastre en las ecuaciones de cantidad de movimiento, considerando los efectos de desviación o curvatura del chorro.

El modelo permite discretizar el medio receptor en distintas capas con distintas densidad y valor y dirección de la corriente ambiental.

A continuación se describen las principales variables axiales del chorro individual de CORJET, las variables integrales o flujos, las fuerzas que se considera actúan sobre el chorro, las ecuaciones de

FICHA DE D-CORMIX

4) FICHA DESCRIPTIVA DEL SOFTWARE VISJET: JETLAG

PROYECTO HD-4 "MEDVIS" / MODELOS COMERCIALES: JETLAG de VISJET

Programa JETLAG de VISJET:

1. INTRODUCCIÓN. AUTORES. DESARROLLO.

El modelo JETLAG, *Lagrangian JET model*, se incluye entre las herramientas del paquete de programas VISJET (*Innovative Modeling and Visualization Technology for Environmental Impact Assessment*), cuyos principales investigadores son los profesores JHW Lee y WF Wang, de la Universidad de Hong Kong.

JetLag simula el vertido mediante chorros sumergidos individuales o múltiples, de efluentes de flotabilidad positiva, negativa y neutra, teniendo en cuenta las condiciones en el medio receptor (corrientes y estratificación en la columna de agua).

El modelo se empieza a desarrollar para chorros desoargados en la misma dirección y sentido que la corriente en el medio receptor (*coflow*), generalizándose después para chorros contra corriente. Finalmente se propone un método de modelización general, que incluye la transición de campo cercano a campo lejano y el vertido también mediante chorros múltiples.

2. DESCRIPCIÓN DEL MODELO. BASE TEÓRICA

JetLag es un modelo lagrangiano tridimensional que no resuelve estrictamente las ecuaciones diferenciales de movimiento y transporte pero que realiza una simulación de los procesos físicos clave expresándolos mediante ecuaciones gobernantes.

El modelo descompone el chorro tridimensional continuo en una sucesión de rebanadas o penachos dispuestos secuencialmente que, siguiendo la trayectoria del chorro inclinado, van incrementando su masa por incorporación de agua del medio receptor ("entrainment"), motivada por la velocidad de salida del chorro y por la presencia de la corriente ambiental.

Al tratarse de un modelo lagrangiano, se estudia la evolución en el tiempo de la rebanada de chorro, que irá cambiando su posición.

2.1. Variables axiales.

La Figura 1 muestra el chorro individual considerado por el modelo JetLag:

Figura 1.: Diagrama esquemático de la trayectoria de un chorro indicando los elementos "pluma" (penacho) del modelo Lagrangiano.

Glosario de términos del modelo JETLAG:

PROYECTO HD-4 "MEDVIS" / MODELOS COMERCIALES: D-CORMIX de CORMIX

Subsistema D-CORMIX de CORMIX

VERTIDOS EMERGIDOS Y SUMERGIDOS CERCANO A LA SUPERFICIE. DESCARGAS DIRECTAS O MEDIANTE CHORRO.

1. INTRODUCCIÓN, AUTORES. DESARROLLO.

El subsistema D-CORMIX (1) ha sido tradicionalmente una de las herramientas avanzadas del sistema CORMIX (2), que inicialmente fue pensada y diseñada para simular el vertido cercano a la superficie del mar, de efluentes con concentración de sólidos en suspensión derivados de las operaciones de dragado. Posteriormente, el modelo se adaptó al vertido de cualquier efluente de flotabilidad negativa, bajo las siguientes configuraciones de descarga:

A) Vertido **sumergido** mediante chorro individual o chorros múltiples **cercanos a la superficie**.
B) Vertido **emergido** mediante chorro individual **cercano a la superficie**.
C) Vertido **directo superficial** a través de una rambla, un cauce, la línea de costa, etc.

La simulación abarca el comportamiento del efluente en campo cercano y lejano.

En las versiones más antiguas de CORMIX (anteriores a la v.5), D-CORMIX se suministraba como una herramienta adicional al paquete básico, limitándose a la simulación de los dispositivos A), B) y C), mientras que para simular vertidos en chorro cercano al fondo se utilizaban directamente las herramientas CORMIX1 y 2, considerando un efluente conservativo e introduciendo las densidades correspondientes.

En las versiones más actuales (v.5 y v.6), el sistema considera D-CORMIX como el subsistema enfocado al diseño de vertidos de salmuera, accediéndose al mismo con la selección de este tipo de efluente (*Effluent pollutant type: brine discharge*), aunque realmente las opciones disponibles son prácticamente las mismas que eligiendo la opción de contaminante conservativo (*Effluent pollutant type: conservative*). D-CORMIX incluye de este modo, los subsistemas CORMIX1 (chorro individual), CORMIX2 (chorros múltiples) y CORMIX3 (vertidos directos superficiales), con posibilidad de vertidos mediante chorro o chorros cercanos al fondo, así como las configuraciones A, B y C).

2. DESCRIPCIÓN DEL MODELO. BASE TEÓRICA.

2.1. BREVE DESCRIPCIÓN DEL FENÓMENO.

En el comportamiento de un vertido *hija/desgo* cercano a la superficie, el efluente se hundirá hasta el fondo, produciéndose un grado de turbulencia que dependerá de la cantidad de momento transmitida en la descarga, que sea la dilución del efluente con el medio receptor. La región de campo cercano se interrumpe por la interacción del efluente con el fondo, produciéndose el impacto y expansión radial del vertido en todas direcciones, incluyendo la reintusión. Posteriormente se produce el colapso de la turbulencia y se forma la corriente de gravedad que inicialmente experimenta una importante expansión debido a su peso, hasta que poco a poco da paso a los procesos de mezcla pasivos propios del campo lejano (donde son la batimetría local, la pendiente del fondo, la estratificación y las corrientes en el medio receptor las determinantes en el movimiento de la pluma).

Las figuras 1 y 2 muestran los esquemas en perfil y en planta de la evolución del flujo en campo cercano y lejano en el caso de un vertido en chorro sumergido cercano a la superficie. La figura 3 muestra la sección transversal de la corriente de gravedad característica del campo lejano.



5) FICHAS DESCRIPTIVAS DEL SOFTWARE VISUAL PLUMES

FICHA GENERAL DE VISUAL PLUMES

FICHA DE UM3

GOBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE, TURISMO Y PLANES REGIONALES

PROYECTO "HD+I" MEDVSA
MODELOS COMERCIALES: SOFTWARE VISUAL PLUMES

VISUAL PLUMES.

1. INTRODUCCIÓN, AUTORES.

El paquete VISUAL PLUMES (1,2) es la versión en Windows del original programa de DOS, PLUMES (3), perteneciente a la Agencia de Protección Ambiental Americana (United States Environmental Protection Agency, USEPA). Se trata de un programa con distintos módulos para la simulación del comportamiento de chorros individuales o múltiples, emergidos y sumergidos, vertidos en un medio receptor homogéneo o con estratificación densimétrica y posibilidad de corrientes ambientales. Los resultados describen la evolución de la trayectoria, geometría y dilución del efluente.

La nueva versión utiliza el sistema operativo WINDOWS e incorpora nuevas herramientas de modelización, mejorando las ya existentes.

El modelo está enfocado a la simulación de transporte de sustancias contaminantes, especialmente de contaminantes biológicos patógenos derivados del vertido de aguas residuales urbanas en zonas costeras. Sin embargo, algunos de sus módulos han extendido su ámbito de aplicación al vertido de efluentes de flotabilidad negativa, como la salmuera.

Visual Plumes es, por tanto, el paquete que contiene la interfaz desde la que se accede a las distintas herramientas de simulación.

GOBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE, TURISMO Y PLANES REGIONALES

PROYECTO HD+I "MEDVSA"
MODELOS COMERCIALES: UM3 de VISUAL PLUMES

MODELO UM3 (UPDATED MERGE 3D) de VISUAL PLUMES.

VERTIDOS SUMERGIDOS MEDIANTE CHORRO INDIVIDUAL O CHORROS MÚLTIPLES.

1. INTRODUCCIÓN, AUTORES. REFERENCIAS.

El modelo UM3 (Updated Merge 3D) es una de las herramientas de modelización incluidas en el programa VISUAL PLUMES (1) y es la versión adaptada a Windows del anterior modelo "UM", del paquete DOS-PLUMES (2).

UM3 (2,3) es un modelo lagrangiano tridimensional de ecuaciones diferenciales integradas en el tiempo, que simula el comportamiento de un vertido mediante chorro individual o chorros múltiples, de efluentes de flotabilidad positiva, negativa o neutros. El modelo permite tener en cuenta las condiciones en el medio receptor (corrientes y estratificación de la columna de agua).

2. DESCRIPCIÓN DEL MODELO. BASE TEÓRICA

UM3 es un modelo tridimensional donde las ecuaciones de gobierno (conservación de la masa, cantidad de movimiento y transporte) se expresan en su forma lagrangiana.

Asumiendo un medio receptor infinito, de modo que el chorro está completamente rodeado de fluido del medio receptor, y asumiendo también autosemejanza entre secciones, se integran en el tiempo las ecuaciones diferenciales de Navier Stokes (RANS) y de transporte y se resuelven para cada paso de tiempo a lo largo de la trayectoria del chorro o pluma (en un sistema de coordenadas que se va desplazando con el flujo). En cada elemento (rebanada), que se desplaza con el tiempo, se asume una determinada distribución de las variables en la sección transversal.

El tamaño y forma de la rebanada va variando como consecuencia del curvado del chorro (por la acción de la fuerza de la gravedad frente a la inercia), de la incorporación del agua ambiente y de otros fenómenos como puede ser la interacción entre chorros contiguos. La incorporación de fluido del medio receptor a la rebanada de chorro (entrainment) se considera mediante distintos componentes de diferente dirección.

Como resultados, el modelo calcula la evolución de la geometría y dilución de chorro o pluma a lo largo de su trayectoria, siempre que no exista interacción del flujo con los contornos.

En la sección 3 se explican más detalladamente las hipótesis simplificativas que asume UM3.

2.1. Descripción del modelo UM3 para vertidos mediante chorro individual.

Como ya se ha comentado, UM3 es un modelo lagrangiano tridimensional en el que, asumiendo medio receptor ilimitado y autosemejanza entre secciones, se integran las ecuaciones de gobierno en el tiempo, lo que reduce el sistema de ecuaciones diferenciales en derivadas parciales a un sistema de ecuaciones diferenciales ordinarias, que el programa resuelve mediante el método numérico de Runge-Kutta de cuarto orden.

Como modelo de cierre de los términos turbulentos, utiliza fórmulas semipempíricas para la difusión turbulenta y para el coeficiente de incorporación (entrainment) de fluido del medio receptor al chorro a través de su periferia. En el caso de chorro individual, la sección se considera circular.

El modelo asume que la pluma se encuentra en estado estacionario, lo que en la formulación lagrangiana implica que los elementos sucesivos sigan la misma trayectoria (2), por lo que se mantiene siempre la misma envolvente a pesar de que los elementos (rebanadas) dentro de la envolvente evolucionen en el tiempo en su forma y posición. Permite variar las condiciones de descarga y del medio receptor a lo largo de la ejecución, siempre que la escala de tiempo de la variación sea comparable al tiempo que tarda el elemento descargado en alcanzar el final de la zona de dilución inicial (1).

Las Fichas Descriptivas, como ya se ha comentado, constituyen una herramienta muy útil para garantizar un correcto uso de los software comerciales disponibles para simular un vertido de salmuera. Este aspecto es muy relevante, ya que un uso incorrecto de estos modelos o una falta de conocimiento respecto a sus limitaciones e incertidumbres en la simulación de vertidos hiperdensos, puede llevar a resultados con un alto porcentaje de error o bien a una incorrecta representación de los resultados de modelización. Esto puede llevar a diseños no adecuados del dispositivo de vertido, lo que se traduce, en último término, en un mayor riesgo de no cumplimiento de los objetivos de calidad en el medio marino para protección de las especies. **La degradación de las praderas de *Posidonia oceanica* en el Mar Mediterráneo, por vertidos de salmuera, supondría una pérdida muy importante de la biodiversidad.** Algunos ejemplos de este uso incorrecto de los modelos comerciales pueden ser leídos en (referencia)

Actualmente, las Fichas ya están disponibles como documentos “pdf” en el Portal Web del proyecto: www.medvsa.es, y pueden descargarse de forma gratuita. Incluyen explicaciones detalladas de su base teórica, estudios de validación para determinar su porcentaje de error aproximado, una tabla de datos de entrada realistas y adecuados para el Mar Mediterráneo, y recomendaciones en cuanto a su ámbito de aplicación, uso y ejecución.

La figura 13 muestra el acceso desde el Portal Web del proyecto a las Fichas Descriptivas del comportamiento de los vertidos de salmuera y a las Fichas Descriptivas de los modelos comerciales.

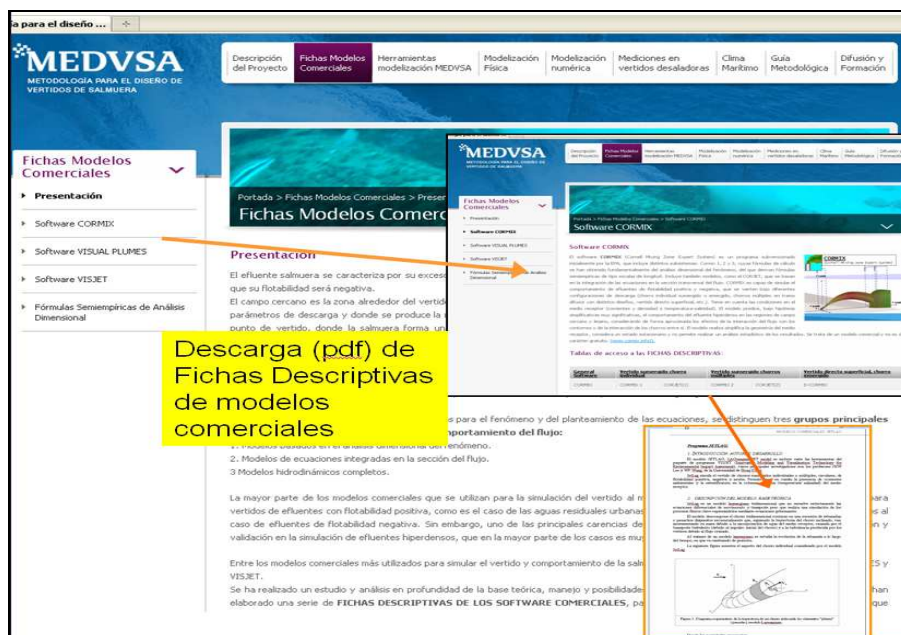


Figura 13. Acceso desde el Portal Web del proyecto (www.medvsa.es) a las Fichas Descriptivas de los modelos comerciales para la simulación de la salmuera.

5.2. Herramientas online de modelización “MEDVSA”.

Después de analizar en detalle los modelos comerciales más utilizados para simular el vertido al mar de la salmuera, se han detectado los siguientes aspectos negativos destacables:

- Su ámbito de aplicación se limita solamente a ciertos dispositivos de vertido.
- Hipótesis simplificadoras en ocasiones poco rigurosas y no aplicables a la modelización de un vertido de efluente de flotabilidad negativa.
- Ajuste pobre de sus resultados numéricos con las mediciones reales obtenidas de modelado físico.
- Código cerrado: no permiten el recalibrado de sus coeficientes experimentales, con los resultados de nuevos ensayos de chorros de flotabilidad negativa.
- Coste económico en ocasiones elevado.

Para solucionar en parte los anteriores aspectos y ofrecer una versión mejorada y con un mayor sustento experimental, se han programado y recalibrado algunos de los códigos más utilizados entre los software comerciales existentes. Así mismo, se han programado, bajo el nombre de herramientas “MEDVSA”, algunas formulaciones publicadas y suficientemente avaladas por la Comunidad Científica para simular ciertos casos no incluidos en los software comerciales.

Los principales objetivos con que se han programado las herramientas de modelización “MEDVSA” son:

- Ofrecer herramientas de simulación en prediseño de algunas configuraciones de vertido o regiones del comportamiento del flujo para las que no existen herramientas en el mercado, como es el caso de un vertido directo superficial o de la simulación del comportamiento en campo lejano.
- Ofrecer herramientas de simulación, bajo las configuraciones de descarga más frecuentes, basadas en los códigos de los software comerciales, mejoradas en su interfaz y recalibradas y validadas en base a nuevos datos experimentales obtenidos mediante técnicas ópticas avanzadas. Mejorar así mismo, el informe de salida de resultados, incluyendo gráficos y otra información de interés para el diseño.

Los **códigos a programar se han dividido en herramientas para la modelización de campo cercano y para la modelización de campo lejano**. El siguiente cuadro esquematiza los modelos que estarán disponibles y serán ejecutables desde esta página web, cuyo uso se recomienda a nivel de prediseño del vertido:



Modelos de Campo Cercano

TIPO DE DESCARGA // MODELO	HERRAMIENTA "MEDVSA"	REFERENCIAS/ CÓDIGO DE BASE
Vertido sumergido mediante chorro individual o tramo difusor de chorros múltiples, sin interacción entre chorros, y sin interacción con los contornos. (Modelos de ecuaciones diferenciales integradas, de primer orden y segundo orden)	MEDVSA-IJETG	CORJET (Jirka, 2004)
	MEDVSA-IJETU	JETLAG (Chu, Lee, 2003)
	MEDVSA-IJET2	
Vertido sumergido mediante chorros múltiples, en el caso de interacción o solape entre chorros	MEDVSA-MJET5	CORJET (Jirka, 2006)
Vertido directo superficial	MEDVSA-DDIS1 MEDVSA-DDIS2	Johnson (1987, 1989) Bournet et al(1999)

Modelos de Campo Lejano

CARACTERÍSTICAS DE LA PLUMA	NOMBRE "MEDVSA"	REFERENCIAS/ CÓDIGO DE BASE
Corriente de gravedad bidimensional	MEDVSA-PLUME2D	Garcia, M. (1996)
Corriente de gravedad tridimensional	MEDVSA-FF3D1	Alavian (1996)

CÓDIGO MEDVSA-IJETG

MEDVSA-IJETG simula el comportamiento de un vertido de efluente hiperdenso (salmuera) mediante un chorro individual sumergido, en un medio receptor en reposo o con presencia de corrientes ambientales. Por tanto, MEDVSA-IJETG simula el caso de un vertido desde el fondo marino, a través de un emisario submarino con una única boquilla de vertido o un tramo difusor donde los elevadores estén suficientemente separados para evitar el solape de chorros contiguos.

MEDVSA-IJETG se ha programado con las ecuaciones planteadas por Jirka (17), que son las utilizadas por el submodelo CORJET (18) de CORMIX (modelo comercial más utilizado en la modelización de vertido en chorro de salmuera).

MEDVSA –IJETG es un modelo que resuelve las ecuaciones diferenciales de movimiento y transporte integradas en la sección transversal del chorro, de modo que los resultados dan la evolución de las variables en el eje. La integración de las ecuaciones simplifica el problema dado que transforma el sistema de ecuaciones diferenciales en derivadas parciales en un sistema ordinario, que permite su resolución mediante un modelo numérico sencillo, en este caso, un Runge Kutta de 4º orden. Sin embargo, la integración de las ecuaciones requiere asumir un medio receptor ilimitado y autosemejanza entre secciones. Para caracterizar tridimensionalmente el chorro, se debe considerar una determinada distribución de las variables en la sección transversal. Dado que experimentalmente se ha demostrado que la distribución en la sección de chorro es de tipo Gauss, es ésta la que se considera en el modelo MEDVSA-IJETG (igualmente al CORJET de CORMIX).

Hay que tener en cuenta que la hipótesis de medio receptor ilimitado implica que el modelo MEDVSA-IJETG (igualmente al CORJET) no es capaz de simular la interacción del chorro con los contornos, por lo que el ámbito de aplicación se limita a la zona de campo cercano, antes de la interacción del chorro con el fondo, y siempre que el chorro no impacte con la superficie.

El modelo MEDVSA-IJETG presenta las siguientes ventajas:

- Es un modelo de simulación gratuito, accesible y ejecutable desde el Portal Web.
- Se ha validado (partiendo inicialmente de los mismo coeficientes experimentales que utiliza CORJET), utilizando una gran cantidad de datos experimentales obtenidos en publicaciones científicas.
- Se ha analizado el modelo de mezcla (“Entrainment”) que utiliza, que una de las claves importantes de su comportamiento, y se ha modificado dicho modelo para una modelización más adaptada a este tipo de modelos.
- Ante la falta de ajuste obtenido en la validación (para el caso de utilizar los coeficientes experimentales de CORJET), MEDVSA-IJETG se ha recalibrado en base a nuevos ensayos experimentales realizados con chorros inclinados de flotabilidad negativa.
- La interfaz con el usuario está disponible en castellano, y se ha mejorado el informe de resultados, de modo que se obtiene, tanto analíticamente como gráficamente, la evolución de las variables de interés.
- Es un código abierto, por lo que se irá mejorando y optimizando con los nuevos avances científicos en la materia.

La Figura 14 muestra el esquema del chorro simulado por MEDVSA-IJET y de las ecuaciones diferenciales integradas en la sección transversal que el modelo resuelve.

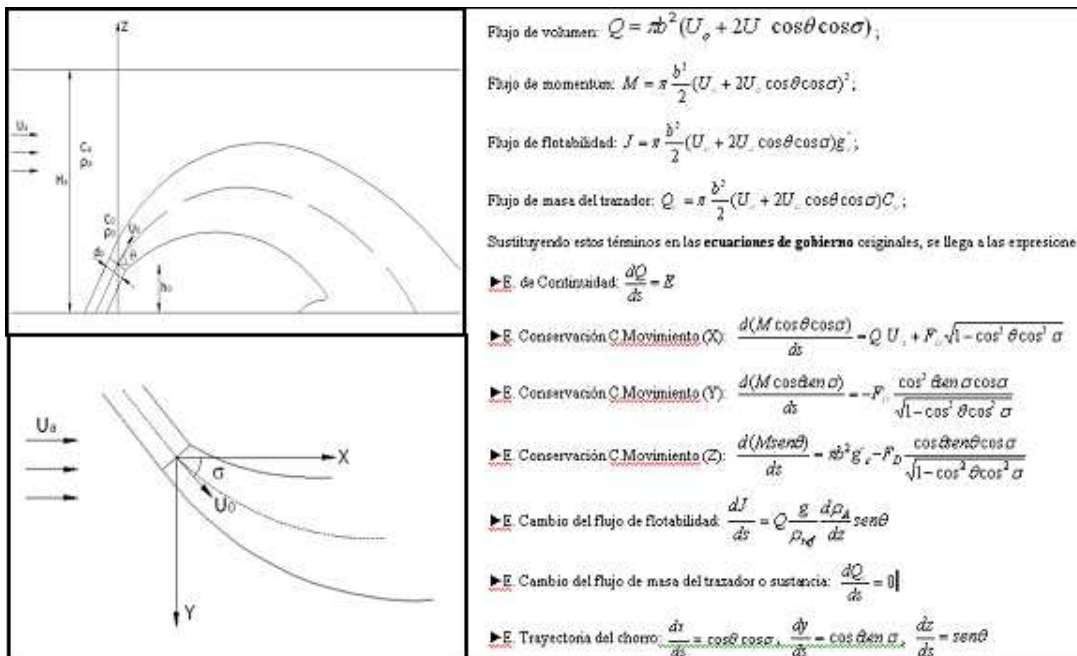


Figura 14. Esquema del chorro y ecuaciones del modelo MEDVSA-IJETG.

En la actualidad, el modelo MEDVSA-IJETG ya se encuentra disponible y es ejecutable desde el portal web del proyecto: www.medvsa.es.

La Figura 15 muestra un esquema de la interfaz con el usuario de MEDVSA-IJETG y del informe de resultados que se genera tras ser ejecutado.

DATOS DE ENTRADA-----EJECUCIÓN MODELO----- ARCHIVO RESULTADOS

Resultados del modelo

Variables características

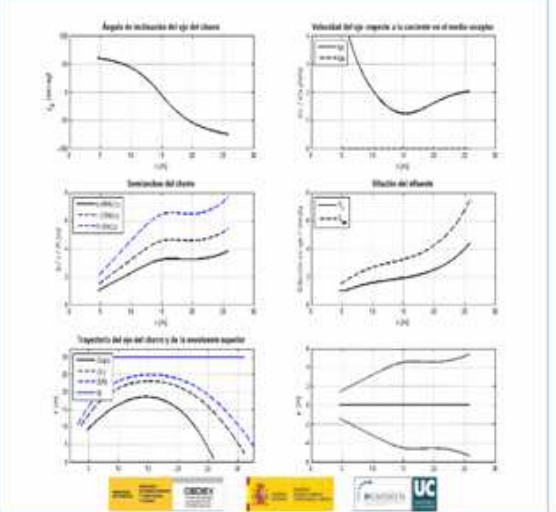
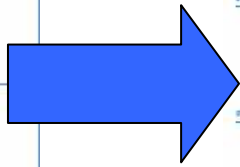
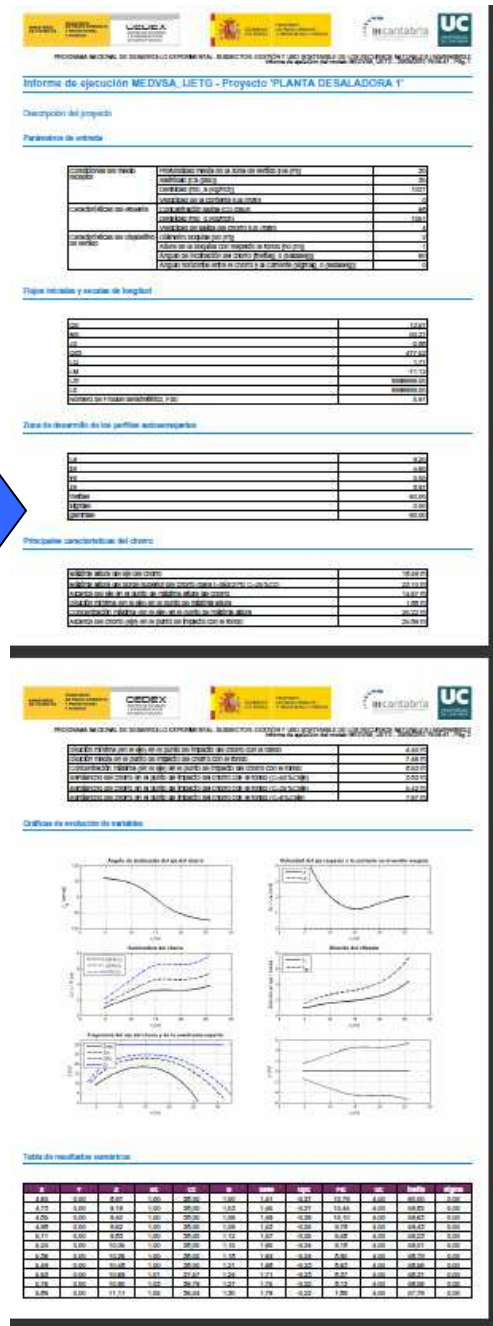
Variable	Valor
Máxima altura del eje del chorro	18,59 m
Máxima altura del borde superior del chorro (para $r=r_{max}(z)^2/b$; $C=25\%/C_0$)	23,10 m
Alcance del eje en el punto de máxima altura del chorro	14,67 m
Dilución mínima (en el eje) en el punto de máxima altura	1,86 m ⁻³
Concentración máxima (en el eje) en el punto de máxima altura	20,22 mg/m ³
Alcance del chorro (est) en el punto de impacto con el fondo	25,89 m
Dilución mínima (en el eje) en el punto de impacto del chorro con el fondo	4,40 m ⁻³
Dilución media en el punto de impacto del chorro con el fondo	7,46 m ⁻³
Concentración máxima (en el eje) en el punto de impacto del chorro con el fondo	8,63 mg/m ³
Sesiancho del chorro en el punto de impacto del chorro con el fondo ($C=50\%/C_0$)	3,83 m
Sesiancho del chorro en el punto de impacto del chorro con el fondo ($C=25\%/C_0$)	5,42 m
Sesiancho del chorro en el punto de impacto del chorro con el fondo ($C=4\%/C_0$)	7,67 m

Descargas

[Datos brutas](#)

[Informe de ejecución](#)

Representación gráfica

Informe de ejecución MEDVSA, IJETG - Proyecto 'PLANTA DESALADORA T'

Descripción del proyecto

Parámetros de entrada

Variable	Valor
Condiciones de entrada	1,20
Velocidad inicial (m/s)	2,00
Concentración inicial (mg/m ³)	10,00
Concentración en el punto de impacto (mg/m ³)	1,00
Alcance del chorro (m)	25,89
Alcance del eje (m)	14,67
Alcance del borde superior (m)	23,10

Tiempo inicial y posición de la fuente

Variable	Valor
tiempo	0,00
altura	2,00
anchura	0,50
tiempo	0,00
altura	2,00
anchura	0,50

Zona de desarrollo de las partes características

Variable	Valor
tiempo	0,00
altura	2,00
anchura	0,50
tiempo	0,00
altura	2,00
anchura	0,50

Procesos característicos del chorro

Variable	Valor
Alcance del eje (m)	14,67
Alcance del borde superior (m)	23,10
Alcance del chorro (m)	25,89
Alcance del eje en el punto de impacto (m)	14,67
Alcance del borde superior en el punto de impacto (m)	23,10
Alcance del chorro en el punto de impacto (m)	25,89

Gráficas de evolución de variables

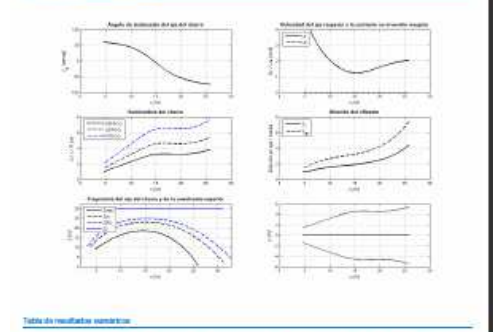


Tabla de resultados resumidos

Variable	Valor
Alcance del eje (m)	14,67
Alcance del borde superior (m)	23,10
Alcance del chorro (m)	25,89
Alcance del eje en el punto de impacto (m)	14,67
Alcance del borde superior en el punto de impacto (m)	23,10
Alcance del chorro en el punto de impacto (m)	25,89

Figura 15. Interfaz e informe de resultados de MEDVSA-IJETG

Imagen obtenida desde el Portal Web del proyecto

6. CONCLUSIONES.

En la actualidad se está desarrollando el proyecto de I+D+i “MEDVSA”, subvencionado por el Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino, con la colaboración del Instituto de Hidráulica de Cantabria y el CEDEX.

El objetivo del proyecto es ofrecer una Metodología para el diseño de los sistemas de vertido y el estudio del comportamiento en el medio marino mediterráneo.

La elaboración de la Guía Metodológica, gratuita y accesible al público, pretender ser una herramienta útil para mejorar la Evaluación de Impacto Ambiental de los proyectos de desalación que implican vertidos al mar de salmuera. **MEDVSA contribuirá, por tanto, a hacer compatible el uso de la desalinización como fuente de recurso hídrico con la conservación de la Biodiversidad en el medio marino.** El proyecto está especialmente dedicado a los vertidos al Mar Mediterráneo, donde se ha demostrado que ecosistemas marinos de gran importancia ecológica (como las praderas de *Posidonia oceanica* y *Cymodocea nodosa*) son sensibles al exceso de salinidad de la salmuera.

Entre las tareas del proyecto se incluyen: análisis de las herramientas comerciales utilizadas para la simulación de vertidos de salmuera; elaboración de herramientas online MEDVSA de modelización; ensayos en modelo físico de vertidos, bajo distintas configuraciones de descarga y medio receptor en movimiento; modelos numéricos complejos para la modelización rigurosa del comportamiento de la salmuera en campo cercano y lejano; herramienta para la selección de escenarios climáticos; campañas de campo para el estudio de vertidos *ad hoc* y validación de herramientas; redacción de una Guía Metodológica que integre toda la información y elaboración de un Portal Web donde esta información quede a disposición del público.

La presente **Comunicación Técnica** se redacta y expone con dos **objetivos**:

- Dar a conocer el proyecto **MEDVSA como una herramienta de gran utilidad en el diseño de dispositivos de vertidos al mar de salmuera, bajo la perspectiva de reducir el impacto ambiental sobre los ecosistemas marinos del Mediterráneo y garantizar una mejor conservación de la Biodiversidad.**
- Describir en detalle y presentar al público interesado, los primeros resultados del proyecto MEDVSA: **las Fichas Descriptivas de los modelos comerciales utilizados en la simulación de vertidos de salmuera, y las herramientas de modelización online “MEDVSA”.**
- Presentar el **Portal Web del proyecto: www.medvsa.es, donde quedará disponible al público, de forma gratuita, la información generada en el proyecto.** En este momento, ya es posible descargar en documentos “pdf” las Fichas Descriptivas de los modelos comerciales, y ya pueden ser utilizadas y ejecutadas online parte de las herramientas de modelización “MEDVSA”

7. AGRADECIMIENTOS.

Queremos agradecer a la Secretaría del Medio Rural y Agua del Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino, la subvención en el Plan Nacional de I+D+i, para el desarrollo de este proyecto.

Queremos también agradecer a la Subdirección de Evaluación Ambiental y a la Subdirección General de Políticas Agroalimentaria, Desarrollo Rural y Agua, la atención prestada y sugerencias realizadas durante la reunión mantenida en el mes de mayo de 2010, para presentación formal del proyecto "MEDVSA".

8. REFERENCIAS.

- (1) Sánchez-Lizaso, J.L.; Romero, J.; Ruiz, J.; Gacia, E.; Buceta, J.L.; Invers, O.; Fernández Torquemada, Y.; Mas, J.; Ruiz-Mateo, A.; Manzanera, M. (2008). "Salinity tolerance of the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica*: recommendations to minimize the impact of brine discharges from desalination plants". DESALINATION, volumen 221, pp. 602-607. ELSEVIER.
- (2) Palomar, P; Losada, I. (2010). "Desalination in Spain. Recent developments and recommendations". DESALINATION, volume 255, pp. 97-106. ELSEVIER
- (3) DBK, S.A. (Databank SpA). Special Report: "Desalination Companies". (www.dbk.es).
- (4) Ruiz Mateo, A. (2007). "Los vertidos al mar de las plantas desaladoras". Revista AMBIENTA, n.51.pp. 51-57.
- (5) CEDEX, 2006. Valores recomendados por el CEDEX y asumidos por la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental (DGCyEA) en sus declaraciones de impacto ambiental (DIAs).
- (6) Terrados, 1991. Terrados, J; Duarte, C.M; et al . (1999). "Are seagrass growth and survival constrained by the reducing conditions of the sediment". AQUATIC BOTANY 65, pp 175-197. ELSEVIER
- (7) Fernandez-Torquemada, Y; Sanchez-Lisazo, J.L. (2006). "Effect of salinity on growth and survival of *Cymodocea nodosa ascherson* and *Zostera noltii Hornemann*". Biology Marine Mediterranean 13, pp 46-47.
- (8) Iso et al, 1994. Iso, S; Suizu, S; Maejima, A. (1994). "The Lethal Effect of Hypertonic Solutions and Avoidance of Marine Organisms in relation to discharged brine from a Desalination Plant". DESALINATION 97, pp389-399. ELSEVIER.
- (9) Lloret, M.P; Sánchez, J.L. (2001). "Bioensayo para la evaluación de los efectos producidos por un incremento de salinidad sobre la supervivencia del erizo de mar *Paracentrotus lividus*". II Congreso Nacional de Desalación. Alicante. Asociación Española de Desalación y Reutilización Alicante (2001).
- (10) Palomar, P; Ruiz-Mateo, A; Losada, IJ; Lara, J L; Lloret, A; Castanedo, S; Álvarez, A; Méndez, F; Rodrigo, M; Camus, P; Vila, F; Lomónaco, P; Antequera, M (2010) "MEDVSA: a methodology for design of brine discharges into seawater" Desalination and Water Reuse Vol. 20/1. Mayo de 2010
- (11) Lara, J. L., Losada I. J., del Jesus, M., Barajas, G., Guanche, R. (2010). "Numerical modelling of wave-structure interaction with a three dimensional Navier-Stokes model". V European Conference on Computational Fluid Dynamics ECCOMAS CFD 2010

- (12) M. Olabarrieta, S. Castanedo, A.D. Gutiérrez (2008). "A local Operational Oceanography model. Procedures to establish a local operational oceanography model and its application in the Cantabrian coast of Spain". Sea Technology, Vol. 49, N° 8, pp. 25-29.
- (13) Camus, P. (2010). "Analysis of clustering and selection algorithm for the study of multivariate wave climate". Enviado a Coastal Engineering.
- (14) Doneker, R.L. and G.H. Jirka, (2001). "CORMIX-GI Systems for Mixing Zone Analysis of Brine Wastewater Disposal", Desalination, volume 139, pp. 263-274.
- (15) Frick, W.E. (2004). "Visual Plumes mixing zone modelling software". Environmental & Modelling Software, volume 19, pp 645-654. ELSEVIER.
- (16) Lee, J.H.W; Cheung, V. (1990) "Generalized Lagrangian model for buoyant jets in current". Journal of Environmental Engineering, ASCE, 116(6), pp. 1085-1105.
- (17) Jirka, G. H. (2004). "Integral model for turbulent buoyant jets in unbounded stratified flows. Part I: The single round jet." Environmental Fluid Mechanics, volume 4, pp. 1-56
- (18) Jirka, G.H. (2008) "Improved Discharge Configurations for Brine Effluents from Desalination Plants", Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol. 134, No. 1, pp. 116-129.