

CASTOR-WATER

Versión 5.0

Aplicación informática para la simulación por ordenador de la dispersión de contaminantes en el agua

MANUAL DEL USUARIO



Castor

Software Ambiental, C.P.

28034 MADRID, España

www.environmental-impact.eu

ξ Impreso en papel reciclado.

© 00/2004/2150

Advertencia: Este programa y el Manual del Usuario están protegidos por las leyes de derecho de autor y otros tratados internacionales. La reproducción o distribución ilícitas de este programa, o de cualquier otra parte del mismo (como el Manual del Usuario), está penada por la ley y con severas sanciones civiles y penales y será objeto de todas las acciones judiciales que correspondan.

CASTOR-WATER PARA WINDOWS 95

CONTRATO DE LICENCIA PARA EL USUARIO FINAL DE
SOFTWARE

IMPORTANTE – LEA DETENIDAMENTE

Este Contrato de Licencia para el Usuario Final de una aplicación realizada por Castor Software constituye un acuerdo legal entre usted (ya sea una persona física o una entidad jurídica) y Castor Software respecto al producto software de Castor indicado arriba, el que incluye el software y otros medios relacionados, los materiales impresos (como el presente manual del usuario) y cualquier otra documentación (producto software). Al instalar, copiar o usar este producto software, y cualquiera de los otros medios relacionados con éste, usted acepta los términos del presente Contrato de Licencia para el Usuario Final. Si no está de acuerdo con los términos de este Contrato de Licencia para el Usuario Final, no instale o use este producto software y sus medios relacionados; por el contrario, devuélvalo al lugar donde lo adquirió.

LICENCIA DE PRODUCTO SOFTWARE

El producto software se encuentra protegido por leyes de derecho de autor y por tratados internacionales sobre derechos de autor, así como por otras leyes y tratados sobre la propiedad intelectual. El producto software realizado por Castor Software se concede bajo licencia, no se vende.

Concesión de Licencia. El Contrato de Licencia para el Usuario Final le otorga los siguientes derechos:

1. Software de Aplicaciones.– Podrá instalar y usar una copia del software en un único equipo o PC. El usuario principal del equipo o PC en que se instaló el producto software podrá hacer una segunda copia para su uso exclusivo en un equipo o PC portátil.
2. Almacenamiento y uso en la red.– Podrá también instalar o almacenar una copia del producto software en un dispositivo de almacenamiento tal como un servidor de red, que se use solo para instalar y almacenar el producto software en sus otros equipos o PCs dentro de una red interna. Sin embargo, usted deberá adquirir y dedicar una licencia para cada PC o equipo en cuyo dispositivo de almacenamiento instale o ejecute el producto software. No podrá compartir ni usar simultáneamente en diferentes PCs una licencia para el producto software.
3. Software no para la venta.– No podrá revender, o de otra manera transferir, por ningún valor el producto software.

Otros derechos y limitaciones.

1. No podrá utilizar técnicas de ingeniería inversa, descompilar ni desensamblar el producto software excepto en el caso de que tal actividad esté expresamente permitida por la ley aplicable.
2. El producto software se otorga bajo licencia como producto único. Sus componentes no pueden separarse para ser usadas en más de un equipo o PC.
3. No podrá alquilar, arrendar o prestar el producto software.
4. Todos los derechos otorgados por el presente Contrato de Licencia para el Usuario Final sólo se pueden transferir de manera permanente con la condición de que no retenga copia alguna, de que transfiera el producto completo y de que el receptor acepte los términos de este Contrato de Licencia para el Usuario Final. Si el producto software es una actualización, cualquier transferencia deberá incluir todas las versiones anteriores del producto software.
5. Sin perjuicio de cualquier otro derecho, Castor Software puede terminar este Contrato de Licencia para el Usuario Final si usted no cumple con los términos y condiciones del mismo. En dicho caso, deberá destruir todas las copias del producto software y sus componentes.

Derechos de autor: La titularidad y derechos de autor con respecto al producto software, los materiales impresos que lo acompañan y cualquier copia del producto software son propiedad de Castor Software. El producto software se encuentra protegido por leyes sobre derechos de autor y por disposiciones de tratados internacionales. Por consiguiente, deberá tratar al producto software como cualquier otro material sujeto a derechos de autor excepto que podrá instalar el producto software en un solo equipo o PC siempre que mantenga el original con fines de copia de seguridad o copia de respaldo o archivo. No podrá copiar los materiales impresos que acompañan al producto software.

Castor Software, C.P.
28034 MADRID, España

ADVERTENCIA LEGAL

El presente documento ha sido realizado por Castor Software en su totalidad. Cualquier mención que podamos encontrar en el manual de empresas, organismos oficiales, nombres comerciales, productos o marcas registradas no implica la participación de los mismos en la realización del presente documento ni en la elaboración del software CASTOR-WATER . Por otra parte, la mención que podamos encontrar en el manual de empresas, organismos oficiales, nombres comerciales, productos o marcas registradas no significa que sean empresas, marcas, organismos o productos recomendados por Castor Software.

La información contenida en el presente manual y en la aplicación informática CASTOR-WATER ha sido obtenida por Castor Software de fuentes dignas de crédito. No obstante, Castor Software no garantiza la exactitud o perfección de la información publicada. Castor Software no será responsable de cualquier error, omisión o daños ocasionados por el uso de la información del presente manual y del paquete informático. Con el uso del presente software y manual, Castor Software no proporciona ningún tipo de servicio profesional o técnico. Se deberá de contar con profesionales cualificados a la hora de realizar un estudio ambiental concreto.

El programa informático CASTOR-WATER es una aplicación informática que tiene por objeto la estimación de la dispersión de contaminantes en el agua. Este tipo de simulaciones numéricas son métodos aproximados para la estimación de la contaminación. Castor Software, elaborador del programa informático CASTOR-WATER para la estimación de las concentraciones de contaminantes en el agua, no garantiza que los resultados obtenidos por dicho programa coincidan con las concentraciones reales que nos podemos encontrar en el agua. El funcionamiento del programa, los algoritmos numéricos empleados y el presente manual han sido concienzudamente examinados de la posible existencia de errores u omisiones. Aunque se ha comprobado el funcionamiento de CASTOR-WATER teniendo en cuenta los resultados que podemos encontrar en la abundante literatura científica existente sobre el tema, Castor Software no se hace responsable de errores u omisiones que podamos encontrar en el funcionamiento del programa, en los algoritmos numéricos empleados y en el presente manual. Castor Software no se hace responsable de pérdidas o daños causados por el uso del paquete software CASTOR-WATER (aplicación informática y manual del usuario).

El programa informático CASTOR-WATER ha sido concienzudamente examinado de la posible existencia de virus conocidos en sus archivos antes de su duplicación. Aunque se ha hecho uso de programas antivirus actualizados de última generación y se han tomado las máximas precauciones en la construcción del programa y del sistema de instalación, Castor Software no se hace responsable de pérdidas o daños causados por cualquiera de ellos. Se recomienda que mantenga copias de seguridad de todos sus datos fundamentales antes de emplear el software CASTOR-WATER .

PREFACIO

El modelo numérico que usa CASTOR-WATER nos da la posibilidad de estudiar numéricamente una gran cantidad de emisores de contaminantes acuáticos que afectan a nuestro medioambiente actual. La base del modelo es el uso de una ecuación gaussiana e independiente del tiempo que simula el penacho de contaminantes que se genera en el agua por un emisor. Con algunas modificaciones, el modelo puede utilizarse para simular emisiones de emisarios submarinos .

El modelo CASTOR-WATER admite datos meteorológicos para establecer las condiciones de la forma de el penacho contaminante. El modelo establece la concentración de contaminante en cada punto afectado del agua producido por cada una de las fuentes emisoras teniendo en cuenta las propiedades del contaminante y el estado del agua. Existe la posibilidad de realizar promedios temporales (diarios, mensuales o anuales) de tal manera que se puede establecer la concentración de contaminante promedio en cada punto del agua.

El sistema de simulación de procesos de contaminación del agua CASTOR-WATER ofrece, tanto al principiante como al programador experto, un método rápido y efectivo para evaluar numéricamente la dispersión de contaminantes en el agua. El programa está basado en el sistema operativo Microsoft WINDOWS donde hace uso intensivo del ratón y de ventanas gráficas. Las barras de iconos facilitan al usuario la realización de las distintas tareas del programa.

Con ello, podemos decir, con una cierta seguridad, que el software CASTOR-WATER es una de las mejores herramientas, si no la mejor y más sencilla, para realizar simulaciones numéricas de procesos de contaminación del agua. Independientemente de la experiencia que posea el usuario en lenguajes de programación o en el uso de herramientas de simulación, en pocos minutos podrá disponer de los primeros resultados. Debido a las características del paquete informático CASTOR-WATER , que permite ejecutar inmediatamente el proceso de contaminación deseado, la simulación numérica se realiza con una velocidad notable. De esta manera, el usuario puede olvidarse de dedicar tiempo a la programación de lenguajes científicos a la hora de buscar resultados.

Este manual pretende describir el manejo y las posibilidades de CASTOR-WATER a base de ejemplos incluyendo todo el proceso de simulación que es capaz de realizar el

paquete informático. No es estrictamente necesario el poseer conocimientos sobre el manejo del sistema operativo Microsoft WINDOWS si bien resulta recomendable. A lo largo del presente manual del usuario simularemos algunos pequeños procesos de contaminación del agua cuyo desarrollo ilustrará el uso del programa en el caso de sistemas complejos. Describiremos la sucesión de pasos necesaria para poder simular un proceso de contaminación del agua haciendo uso del presente paquete informático.

Finalmente, comentaremos que existen en la abundante literatura científica una gran cantidad de modelos numéricos gaussianos para evaluar la dispersión de contaminantes en el agua. Esto no nos debería extrañar en absoluto ya que actualmente existen diferencias numéricas importantes entre los múltiples modelos gaussianos que nos podemos encontrar en la literatura científica. El problema radica en que lo que es un fenómeno físico complejo (que involucra turbulencias, dinámica no lineal y termodinámica de los procesos irreversibles) lo queremos simplificar mediante una ecuación gaussiana independiente del tiempo. Por otra parte, añadiremos que este tipo de aproximación es, hoy por hoy, la más razonable que nos podemos plantear para evaluar los efectos medioambientales de la contaminación del agua.

Indice

Indice.....	1
1. Introducción.....	2
2. Gestión e Impacto Ambiental.....	2
3. El Agua.....	4
3.1 Propiedades físicas del agua.....	4
3.2 Propiedades químicas del agua.....	7
3.3 Componentes inorgánicos del agua.....	9
3.4 Componentes orgánicos del agua.....	11
4. El Mar.....	11
4.1 Propiedades físicas del mar.....	11
4.2 Movimientos del agua en el mar.....	13
5. La contaminación del Agua.....	14
5.1 Tipos, fuentes y efectos de los contaminantes acuáticos.....	16
6. Usando CASTOR-WATER por primera vez.....	25
6.1 El paquete de CASTOR-WATER.....	26
6.2 Instalación.....	26
6.3 Configuración y arranque.....	28
7. Los elementos de CASTOR-WATER.....	29
7.1 El menú.....	35
7.1.1 Archivo.....	35
7.1.2 Ver.....	40
7.1.3 Emisarios.....	41
7.1.4 Medio.....	48
7.1.5 Herramientas.....	51
7.1.6 Configuración.....	68
7.1.7 SIG.....	74
7.1.8 3D.....	75
7.2 La barra de herramientas de CASTOR-WATER.....	76
8. Estructura del programa.....	76
9. Algoritmos usados por el programa.....	78
9.1 Modelo de penacho con curvatura.....	79
9.2 Modelo estratificado.....	80
9.2.1 Medio receptor no estratificado.....	82
9.2.2 Medio receptor estratificado.....	84
9.2.3 Posición en el punto de surgencia.....	85
9.2.4 Cálculo de las concentraciones.....	85
10. Referencias científicas.....	88

1. Introducción

Nuestro planeta es un medio frágil y limitado en cuanto a su potencial de generar los recursos que la humanidad solicita y su capacidad de absorber los residuos y emisiones que se generan. La precariedad de la resistencia ecológica y ambiental de la tierra ante las agresiones y perturbaciones naturales puede llegar a amenazar el desarrollo y la pervivencia de la especie humana. Instrumentos como Cuidar la tierra (UICN, PNUMA y WWF), la Agenda 21 o el Informe Brundtland abogan insistentemente por alcanzar a escala mundial lo que se conoce como el desarrollo sostenible. Éste es aquel que admite un crecimiento y una evolución en el marco de la capacidad de carga de los ecosistemas sin comprometer las necesidades de las generaciones futuras por medio de la Gestión Ambiental de los diferentes lugares del Planeta.

2. Gestión e Impacto Ambiental

En el mundo actual, la gestión ambiental se basa en dos herramientas fundamentales: la planificación y la evaluación del impacto ambiental. Estos dos instrumentos son fundamentales para hacer compatibles la actividad humana con la conservación del territorio manteniendo la calidad de los recursos ambientales presentes.

El proceso de planificación ambiental es un trabajo que consiste en conjugar las características y problemáticas de cada lugar y las posibilidades actuales y potenciales del sitio para satisfacer las demandas socioeconómicas existentes. Partiendo de esta definición, se marcarán unos objetivos de gestión cuyo fin será el lograr la optimización del aprovechamiento de los recursos minimizando, a su vez, el impacto generado sobre el medio.

En este sentido, definiremos el impacto ambiental que sufre una región determinada como la diferencia entre la situación ambiental futura del lugar, después de la realización de un proyecto, y el estado ambiental de la zona si dicho proyecto no hubiera tenido lugar nunca. El correcto diagnóstico del impacto exige conocer todos los elementos implicados en el proceso de degradación ambiental. Además un estudio de impacto ambiental deberá incluir una planificación de la vigilancia ambiental del proyecto.

Uno de los sistemas físicos fundamentales para evaluar la calidad ambiental de una región es el agua. El agua, junto con el suelo y los recursos hídricos, juegan un papel fundamental en el desarrollo de la vida. En este software, nos centraremos en el estudio y en la gestión de el agua.

Los emisarios submarinos actúan principalmente sobre el mar descargando cerca de la costa en ríos y estuarios. Este programa permite simular ambas situaciones. Los principales contaminantes en medios marinos y estuarios son: los residuos orgánicos, los metales pesados, las sustancias orgánicas sintéticas (organoclorados), el petróleo y sus derivados, y las aguas termales.

Los residuos orgánicos.- La mayor parte del vertido en agua dulce y medios marinos son residuos orgánicos. Destacamos los producidos por aguas residuales municipales aunque también pueden tener importancia algunos vertidos industriales. Este tipo de vertido experimenta una demanda muy importante de oxígeno (DBO = demanda bioquímica de oxígeno). Valores altos para la DBO pueden provocar la desoxigenación y la creación de condiciones anaeróbicas con la consiguiente producción de ácido sulfhídrico y el consiguiente deterioro medioambiental. Aguas sin contaminar pueden tener una DBO entre 1 y 2 mg/L mientras que las aguas fecales tienen entre 300 y 400 mg/L. Un 1mg/L=1g/m³.

Los metales pesados.- Algunos metales pesados como el Cu y el Zn no son biodegradables y suelen precipitarse en moluscos que filtran gran cantidad de agua salada para alimentarse, como el mejillón. Estos metales son tóxicos en dosis altas y pueden producir un problema para la salud cuando se consumen en dosis altas.

Los organoclorados.- Algunos de estos compuestos como los pesticidas y el PCB pueden causar un gran impacto en la biota. Su vertido no está autorizado.

Las aguas termales.- Son vertidos de aguas de refrigeración de industrias y centrales de energía. El aumento de la temperatura del agua puede producir la aparición de organismos inusuales de origen tropical.

3. El Agua

Elemento indispensable para la vida. Alrededor del 97% del agua presente en la Tierra se encuentra en los océanos y el 70% de la superficie de nuestro planeta está cubierto por ella. La tenemos en forma de mares, ríos, lagos, aguas subterráneas, hielo y como vapor de agua en la atmósfera. El agua está en constante movimiento, desde la tierra y los océanos a la atmósfera y desde la atmósfera vuelve de nuevo a la tierra y a los océanos, es lo que se conoce como **ciclo del agua**. Aprovechando estos movimientos, el agua transporta materia y energía. El agua disuelve los compuestos solubles de los minerales y los lleva hasta los océanos o los deposita en lugares alejados. El agua transporta los nutrientes de las plantas desde el suelo hasta el cuerpo de las mismas a través de las raíces. El agua absorbe energía solar en forma de entalpía de vaporización cuando se evapora en el océano y es llevada tierra adentro, entonces es liberada cuando el vapor de agua se condensa. La lluvia disuelve las sustancias presentes en la atmósfera: oxígeno, nitrógeno, dióxido de carbono, óxidos de sulfuro y óxidos de nitrógeno. En las áreas muy industrializadas donde se emiten grandes cantidades de óxidos de azufre y de nitrógeno a la atmósfera, la lluvia puede ser entre 10 y 100 veces más ácida de lo normal. Esto genera grandes problemas en lagos, bosques e incluso en edificaciones.

3.1 Propiedades físicas del agua

Color: Es producido por los minerales disueltos, colorantes o ácidos húmicos de las plantas. Se denomina "color verdadero" al color del agua causado por sustancias disueltas que permanece después de un filtrado a través de un filtro de 0,45 mm, y "color aparente" a los compuestos coloreados en solución junto con la materia coloreada en suspensión. El color se mide en unidades de mg/l de platino. En ríos oscila entre 5 y 200 mg/l, siendo el límite superior del agua potable de la Unión Europea de 20 mg/l, con un valor guía de 1 mg/l.

Turbidez: Es causada por la presencia de materia en suspensión que dispersa y absorbe la luz. Se mide en mg/l de SiO₂. Los valores en un río oscilan entre 2 y 200 mg/l, siendo el límite superior del agua potable en la UE de 10 mg/l de SiO₂, con un valor guía de 1 mg/l.

Sabor: Puede ser debido a ciertos microorganismos o algas, aunque lo más frecuente es que se deba a la presencia de sales disueltas.

Olor: Al igual que el sabor, puede ser debido a la presencia de sustancias inorgánicas u orgánicas.

Temperatura: Es quizás el parámetro más importante con respecto a la estabilidad de las aguas y a la cantidad de oxígeno disuelto en la misma. La densidad y la temperatura tienen una relación inversamente proporcional, de forma que con el aumento de temperatura el agua se hace menos densa y por tanto más ligera. Así, por ejemplo a una temperatura de 4°C el agua tiene una densidad de 1 Kg/l y a 35 °C pasa a tener un valor de 0,994 Kg./l. Cuando existe un gradiente de temperatura se puede producir una estratificación entre la capa de agua superior más caliente y la capa de agua inferior más fría. Este fenómeno se puede dar tanto en aguas dulces como saladas (en el punto siguiente se explicará con mayor profundidad este fenómeno). En cuanto al oxígeno disuelto, éste disminuye también con el aumento de temperatura (ver tabla) y es un factor a tener en cuenta sobre todo en ríos de salmónidos, donde los niveles aconsejados de temperatura y oxígeno disuelto son de 22 °C y 6 mg/dm³.

<i>Concentración de saturación de oxígeno disuelto en agua.</i>	
<i>Temperatura (°C)</i>	<i>Oxígeno disuelto (g/m³)</i>
<i>0</i>	<i>1.42</i>
<i>5</i>	<i>12.4</i>
<i>10</i>	<i>10.9</i>
<i>15</i>	<i>9.8</i>
<i>20</i>	<i>8.8</i>
<i>25</i>	<i>8.1</i>
<i>30</i>	<i>7.5</i>

La **contaminación térmica**, normalmente se produce por el aporte de aguas residuales calientes provenientes de torres de refrigeración de estaciones eléctricas y otras industrias. Además de disminuir el oxígeno disuelto, este tipo de contaminación puede matar algunos peces o incrementar la susceptibilidad de algunos organismos acuáticos a enfermedades o parásitos, desequilibrando el ecosistema acuático.

Densidad del agua y estratificación térmica: como ya hemos visto, la densidad del agua está estrechamente relacionada con la temperatura. De esta forma un agua templada flota sobre el agua más fría. En los lagos u océanos la temperatura va descendiendo con la profundidad y de forma inversa se va produciendo un incremento en la densidad del agua. En zonas templadas o en épocas estivales las altas temperaturas del aire ambiente calientan la superficie del agua, disminuye su densidad y flota sobre la capa de agua más profunda, fría y densa. Cuanto mayor es la temperatura, más se diferencian las masas de agua llegando a producirse una **estratificación del medio acuático** en tres capas diferenciadas. Una superior o *epilimnion*, templada y de menor densidad, una inferior o *hipolimnion*, fría y más densa, y una región estrecha que separa a éstas denominada **termoclina o picnoclina**. En esta región intermedia se produce un gradiente térmico muy acusado, donde la temperatura desciende muy rápidamente tan solo bajando unos pocos metros de profundidad. Cuando se dan estas circunstancias se produce un atrapamiento de nutrientes y otras sustancias (por ejemplo, contaminantes) en la capa inferior fría impidiendo su difusión hacia la superficie. Por el contrario la capa inferior no recibe aportes del oxígeno atmosférico disuelto, volviéndose cada vez más anóxica. En los océanos se produce principalmente en aguas tropicales y templadas, aunque, en estas últimas, se desarrolla menos y a una profundidad mayor. En estas zonas templadas existe una mayor diferencia estacional y en épocas estivales donde el sol calienta la superficie del mar puede aparecer una **termoclina estacional**, menos profunda y con un gradiente mucho más acusado. La aparición de esta capa de mezcla tiene gran importancia en la producción de los productores primarios de mar, ya que es un factor limitante en el aporte de nutrientes en la capa superior de agua. Los nutrientes en esta capa van disminuyendo poco a poco, ya que los que están en forma de detritos caen al fondo del mar y no vuelven a subir a la superficie debido a la estratificación creada por la termoclina. Finalmente, otro factor en el que es de gran importancia la aparición de la

termoclina es en la dispersión de los contaminantes ocasionados por los emisarios submarinos que se encuentran por debajo de la capa de mezcla, ya que quedarían atrapados por debajo de ésta y no llegarían a la superficie.

Sólidos: Es uno de los parámetros más importantes. Su tamaño puede ser del orden de milímetros (por ejemplo en aguas fecales con restos de comidas) hasta 10^{-9} mm. (sólidos disueltos). Se denominan de la siguiente manera:

- ST: Sólidos totales, es el residuo que queda después de una evaporación a 105°C .
- SS: Sólidos en suspensión, es la fracción que queda retenida en un filtro de tamaño de poro de $1,2\ \mu\text{m}$.
- STD: Sólidos totales disueltos, $\text{STD}=\text{ST}-\text{SS}$.
- STV: Sólidos totales volátiles.
- SVS: Sólidos volátiles en suspensión.

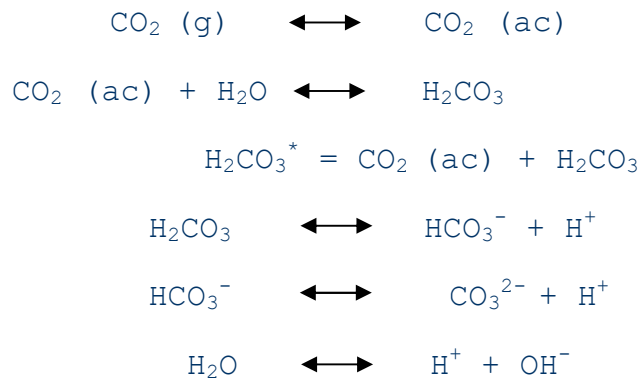
Se pueden clasificar de diversas maneras, así, pueden ser sólidos:

- en suspensión, coloidales (partículas arcillosas que permanecen en una fase sólida en suspensión) o disueltos,
- filtrables (comprende los coloidales y los disueltos) o no filtrables,
- volátiles o no volátiles,
- orgánicos o inorgánicos,
- sedimentables o no sedimentables.

El tipo de clasificación se escogerá en función de la aplicación que se le vaya a dar al estudio.

3.2 Propiedades químicas del agua

Las propiedades químicas de un agua están en función de las sustancias disueltas en ella, aunque las especies del **sistema carbonato** son las que mayor peso tienen sobre el valor de pH, alcalinidad y la capacidad tampón de las aguas. En este sistema intervienen especies químicas inorgánicas originadas en los minerales (como el CaCO_3) y en la atmósfera (CO_2) que se disuelven en el agua, teniendo lugar una serie de reacciones ácido-base. Los equilibrios principales de este sistema son:



La **capacidad tampón** se define como la "resistencia a los cambios de pH". Es de gran importancia, sobre todo en aguas de ríos y lagos, para contrarrestar los efectos de acidificación de la lluvia ácida. Esta capacidad es debida a la presencia de las especies del sistema carbonato. Así las bases débiles del sistema (HCO_3^- , CO_3^{2-} y OH^-) contrarrestan los efectos de los ácidos fuertes (ácido nítrico, HNO_3 y ácido sulfúrico, H_2SO_4) procedentes de la lluvia ácida. De igual forma los ácidos débiles (H_2CO_3 y H_3O^+) amortiguan los efectos de las bases fuertes (Ej. NaOH).

pH: Es una de las propiedades más importantes en relación con la calidad de las aguas, ya que la mayor parte de las formas de vida son sensibles a los cambios de pH. Las aguas minerales tiene un valor de pH entre 6 y 9, el agua de mar tiene un valor de 8 y la lluvia pura de 5,6.

Alcalinidad y acidez: Es la capacidad amortiguadora del agua. La alcalinidad es la capacidad del agua para aceptar iones H^+ neutralizando los ácidos, mientras que la acidez es la capacidad neutralizadora de las bases. Están íntimamente ligadas al sistema carbonato, de forma que las especies que intervienen en dicho sistema son las que contribuyen a la alcalinidad. Estas son: el hidróxido (OH^-), el ión carbonato (CO_3^{2-}), el ión bicarbonato (HCO_3^-) y el dióxido de carbono (CO_2). La alcalinidad tiene unidades de mg/l como CaCO_3 y se define como:

$$[\text{Alc}] = [\text{OH}^-] + 2[\text{CO}_3^{2-}] + [\text{HCO}_3^-] - [\text{H}^+]$$

Dureza: Es debida principalmente a la presencia de los iones calcio (Ca^{2+}) y magnesio (Mg^{2+}) que se han disuelto en el agua provenientes del suelo o formaciones geológicas. Aparte de estos dos iones principales también hay otros que contribuyen a la dureza. Estos son: Si^{2+} , Fe^{2+} , Mn^{2+} , HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , NO_3^- , SiO_3^{2-} . Estos iones

reaccionan con el jabón dando lugar a precipitados y por el contrario son solubles en los detergentes. La dureza se expresa como mg CaCO₃/l o como meq/l. Este parámetro es usado principalmente en el agua potable. La dureza puede ser de dos tipos, temporal o permanente. La temporal es debida a la presencia de la sal calcio hidrogenocarbonato disuelta, que mediante un proceso de ebullición pasa a formar CO₂ y carbonato cálcico (CaCO₃) que es depositado, quedando el agua blanda. La dureza permanente se debe a la disolución de sulfatos cálcicos o magnésicos que no precipitan con la ebullición.

Grado de dureza	meq/l	mg/l como CaCO ₃
Blanda	<1	0-75
Moderadamente dura	1-3	75-150
Dura	3-6	150 - 300
Muy dura	>6	>300

Conductividad: Es la capacidad de una solución acuosa para transportar la corriente eléctrica. Aumenta en relación con la cantidad de iones, es decir, de sales disueltas. Así, el agua pura tiene una conductividad de 0,05 µS/cm (microsiemens/cm) y el agua de mar tiene una conductividad aproximada de 40.000 µS/cm.

3.3 Componentes inorgánicos del agua

El agua natural contiene **iones principales** disueltos, entre los que se encuentran el calcio (Ca²⁺), el magnesio (Mg²⁺), el sodio (Na⁺), el potasio (K⁺), el bicarbonato (HCO₃⁻), el sulfato (SO₄²⁻), el cloruro (Cl⁻) y el nitrato (NO₃⁻). La cantidad de cada uno de ellos depende del tipo de agua del que se trate, pero por lo general se encuentran en concentraciones del orden de partes por millón (ppm). Por otra parte también pueden estar presentes de manera natural en menor cantidad los **iones secundarios**, en concentraciones del orden de partes por billón o partes por trillón. Estos son el aluminio (Al³⁺), el amonio (NH₄⁺), el arsénico (As³⁺), el bario (Ba²⁺), el borato (BO₄³⁻), el cobre (Cu²⁺), el hierro (Fe²⁺, Fe³⁺), el manganeso (Mn²⁺), el bisulfato (HSO₄⁻), el bisulfito (HSO₃⁻) el carbonato (CO₃²⁻), el fluoruro (F⁻), el hidróxido (OH⁻), el fosfato (H₂PO₄⁻, HPO₄²⁻,

PO_4^{3-}), el sulfito (S^{2-}) y el sulfato (SO_3^{2-}). La sílice (SiO_2), un mineral no iónico, también está presente en las aguas y su concentración está ligada al crecimiento de plantas y organismos acuáticos, ya que el silicio (Si) forma parte ellos. De esta forma, en época de verano donde hay mayor proliferación de algas y fitoplancton, debido a la mayor insolación, se produce una reducción en la concentración de sílice.

Mención especial merecen los dos **nutrientes** principales en el agua: el **nitrógeno** y el **fósforo**. Ambos son componentes esenciales para el desarrollo de las plantas y organismos pero su exceso es perjudicial para los ecosistemas por generar situaciones de eutrofización y por ser tóxico, tanto para el hombre, como para los animales e incluso bacterias. El **nitrógeno**, componente básico de las proteínas, pasa por diferentes formas a lo largo de su ciclo, siendo la de mayor interés: el nitrógeno molecular (N_2), el amoníaco (NH_3), el nitrito (NO_2^-) y el nitrato (NO_3^-). En el agua el nitrógeno (N_2) disuelto es fijado por las algas y las bacterias y transformado a sus formas orgánicas (NH_3 , NO_2^-). Las aguas residuales y el uso de fertilizantes son grandes aportadores de nitrógeno a los sistemas fluviales, de hecho, una gran concentración de nitrógeno orgánico en un agua es indicativo de contaminación. Se han establecido algunos valores límite para los distintos compuestos nitrogenados, en ciertos tipos de aguas:

Tipo de agua	Valor límite
Ríos de buena calidad	1 mg N_{org} /l
Ríos de salmónidos	1 mg $\text{NH}_3\text{-N}$ /l
Tratamientos de digestión anaerobia	50 mg $\text{NO}_2\text{-N}$ /l
Agua potable	0,1 mg $\text{NO}_2\text{-N}$ /l
Ríos de salmónidos	0,01 mg $\text{NO}_2\text{-N}$ /l
Agua potable	40 mg $\text{NO}_3\text{-N}$ /l
Ríos de salmónidos	1 mg $\text{NO}_3\text{-N}$ /l

El **fósforo** está presente en todos los organismos vivos, donde tiene funciones importantes en la actividad celular y en la composición de los huesos. Es el nutriente limitante en los procesos de eutrofización. Se encuentra principalmente en los fertilizantes aunque también está presente en los detergentes, diferentes sustancias químicas, pesticidas, jabones, comidas

para animales, etc. Se encuentra en las aguas de manera natural por la disolución de rocas o la erosión del suelo donde éste está presente. También se puede producir un aporte artificial proveniente de aguas residuales industriales, aguas fecales, por escorrentía de los terrenos agrícolas o por precipitación atmosférica. Los lagos pueden convertirse en eutróficos si la concentración de fósforo supera los 30 µg/l. La Unión Europea establece un valor límite para los ríos de salmónidos de 65 µg/l de fósforo total.

3.4 Componentes orgánicos del agua

Las sustancias orgánicas presentes en el agua pueden tener un origen natural, producidas por animales o plantas, o antrópico. Tanto en un caso como en otro su presencia se considera contaminante. Las **sustancias de origen natural** las componen elementos celulares como **proteínas** (compuestas por C, H, O, N, S), **lípidos** (comprenden las grasas insolubles en agua y lentamente biodegradables), **hidratos de carbono** (compuestos por C, H, O), **pigmentos vegetales** (clorofila, carotenos, que incluyen alcoholes, cetonas, carotenoides). Las **sustancias sintéticas** son producto de la industria y las prácticas agrícolas, pueden ser: **abonos, pesticidas y herbicidas, fungicidas** (hidrocarburos clorados, fosfatos orgánicos...), **agentes tensoactivos** (detergentes, originan espumas que reducen la difusión del oxígeno atmosférico hacia el agua), **hidrocarburos halogenados** (por ejemplo: cloroformo, bromoformo, dibromoclorometano. Pueden verse en aguas residuales o formarse por reacción del cloro con otros compuestos orgánicos del agua), **compuestos aromáticos clorados** (bencenos clorados, bifenoles policlorados).

4. El Mar

4.1 Propiedades físicas del mar

En este apartado se abordarán de manera somera algunas de las propiedades físicas más importantes de este medio.

En el mar se encuentran prácticamente todos los **elementos** conocidos en la tierra, pero son el cloro, el sodio, el magnesio, el sulfuro, el calcio y el potasio, los que constituyen el 99% de los solutos disueltos en el agua del mar.

La **presión** hidrostática (debida únicamente a la presión ejercida por la columna de agua por encima del punto de medida) en el mar aumenta un decibar (0,1 bar) por cada metro de profundidad. Para expresar la presión en los océanos se toma como cero la superficie del mar y el valor en metros de la profundidad es equivalente a los decibares de presión, por tanto el rango de presiones en el océano va desde 0 a 10.000 decibares.

El rango de **temperaturas** en los océanos va desde $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta $+30\text{ }^{\circ}\text{C}$ en mar abierto, aunque en el 90 % de la masa oceánica mundial tiene un rango de $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $10\text{ }^{\circ}\text{C}$.

La **salinidad** mide las sales disueltas y se expresa en gramos por kilo de agua de mar, o lo que es lo mismo, en partes por mil, representándose con el símbolo (‰). Varía en los océanos entre 33 ‰ y 37 ‰. En los lugares donde hay mucha aportación de agua de los ríos o de lluvia la salinidad es menor. Por lo general en la mayoría de los océanos el valor oscila entre 34 ‰ y 35 ‰. En el agua de mar están disueltos todos los cationes y aniones que se encuentran en la naturaleza, éstos entran en él a través del agua de los ríos. Los más importantes son: sodio, magnesio, calcio, potasio, estroncio cloruro, sulfato, bromuro y bicarbonato.

La **densidad** se define como la masa por unidad de volumen y se expresa en Kg/m^3 , la nomenclatura utilizada es $\rho(\text{SAT},0)$. La densidad del agua de mar depende de los tres parámetros vistos anteriormente, por tanto conociendo la temperatura, la salinidad y la presión tendremos el valor de la densidad. La relación entre ellas no es lineal, así por ejemplo, la densidad es más sensible a los cambios de temperatura a alta temperatura que a baja. De forma general, la densidad aumenta en $1\text{ Kg}/\text{m}^3$ para un cambio de salinidad de +1, para un cambio de temperatura de -5°C o para un cambio de presión de $+2000\text{kPa}$ (kilo pascales) = $+200\text{dbar}$ (igual a un aumento de profundidad de unos 200m). Como los valores extremos de densidad en el agua de mar varían entre $1020\text{ Kg}/\text{m}^3$ y $1030\text{ Kg}/\text{m}^3$, con una media de $1025\text{ Kg}/\text{m}^3$, normalmente se expresa este parámetro indicando su valor - 1000, es decir, para un agua con un valor de densidad de $1025,95\text{ Kg}/\text{m}^3$ el valor de la densidad se dirá que es igual a $25,95\text{ Kg}/\text{m}^3$ (usualmente se omiten las unidades). A este parámetro se le ha definido como sigma-t, $\sigma_t = (\rho(\text{st}0) - 1000)$. La relación entre la densidad, la temperatura y la salinidad va a dirigir los movimientos de las masas de agua en los océanos.

4.2 Movimientos del agua en el mar

Los movimientos en el agua son fundamentales para que los nutrientes acumulados en los fondos marinos, a partir de la descomposición de los detritos, lleguen a las capas altas del agua para ser consumidos por los organismos autótrofos. Las **olas y las turbulencias** se generan por la transferencia de energía cinética del viento al agua. Estas olas en superficie causan turbulencias en las capas de agua de debajo, haciendo que se mezcle el agua en la columna vertical. Sin embargo, este movimiento no alcanza grandes profundidades y va decayendo con la misma. A mayor velocidad del viento, mayores son las olas y más profundas las turbulencias producidas. Estas turbulencias pueden llegar a los 200 m cuando el viento es muy fuerte en épocas de invierno.

Las **corrientes superficiales** también las genera el viento cuando sopla en la misma dirección largos periodos de tiempo, transmitiéndole energía a la capa superficial del agua por efecto de fricción. Estas corrientes solo mueven aproximadamente los 200 m superiores del agua. En general a lo largo de toda la geografía mundial ya están establecidas unas corrientes con dirección fija, según las direcciones dominantes de los vientos. Así tenemos por ejemplo la corriente de las Canarias, la del Atlántico Norte, la Ecuatorial, etc. Cuando los sistemas de corrientes adoptan movimientos circulares son llamados **giros** y tienen la particularidad de girar en sentido de las agujas del reloj cuando ocurren en el hemisferio Norte y en sentido contrario en el hemisferio Sur (debido al efecto de Coriolis). Las corrientes se clasifican como cálidas o frías. El movimiento de las aguas por las corrientes tiene tal importancia que incluso llega a afectar no solo a los organismos que viven en el mar, sino que también afecta las condiciones climatológicas. De esta forma, lugares que se encuentran a la misma latitud pueden tener condiciones climatológicas muy diferentes, como es el caso de Irlanda o Noruega que, bañadas por la corriente cálida del Atlántico Norte, gozan de la ausencia de hielo en sus costas, no siendo así en Labrador y Groenlandia que se ven afectadas por la llamada Corriente fría de Labrador. Las corrientes no solo mueven agua en la horizontal, también lo hacen de forma vertical generando lo que se conoce como "**corrientes emergentes**" (*upwelling*), donde las frías aguas de las profundidades, ricas en nutrientes, alcanzan la superficie. Para que tengan importancia deben ocurrir durante largos periodos de tiempo. Al igual que en el caso de las corrientes superficiales, ya hay lugares establecidos donde tienen lugar estos fenómenos. Suelen

ocurrir en las corrientes lentas en la parte Este de los continentes (Benguela, Peruana, Canarias), en las corrientes de Ecuador y en la Circumpolar Antártica. Cada una de estas tres corrientes emergentes tiene una causa diferente. En las **corrientes limítrofes a la parte Este** de los continentes, las corrientes emergentes se desarrollan cuando el viento sopla paralelo a la costa y transversal al Ecuador. Cuando esto ocurre, las aguas superficiales son alejadas de la costa por un proceso llamado "transporte de Ekman". La superficie es reemplazada por el agua de debajo, normalmente de profundidades entre 50-300 m. En las **corrientes del Ecuador**, se deben a divergencias entre las corrientes del Ecuador del Norte, la del Sur y la del Ecuador contracorriente. El *upwelling* de la **corriente Antártica** se debe al hundimiento del agua superficial que está en contacto con los hielos que cubren el continente. Esta agua al enfriarse se hace más densa y se hunde, dando lugar a que otras aguas más profundas afloren aportando nutrientes con ellas. El agua hundida llega a las profundidades abisales desde donde fluye hacia el hemisferio Norte en forma de **corriente profunda** a una tasa de 20 millones m³ de agua por segundo. De igual forma, otra corriente profunda similar ocurre desde el Ártico hacia el Sur. Tanto las corrientes superficiales como las profundas tienen gran importancia en la distribución de nutrientes en el mar. Además las corrientes intervienen en la distribución de animales en estado larvario y guían la migración de los animales marinos a las zonas de reproducción.

5. La contaminación del Agua

Se define como contaminación, según la Unión Europea, "la introducción directa o indirecta como consecuencia de la actividad humana de sustancias, vibraciones, calor o ruido en el aire, el agua o el suelo que pueden ser nocivos para la salud humana o la calidad del medio ambiente, causar daños a la propiedad material o perjudicar o entorpecer las actividades recreativas y otros usos legítimos de medio ambiente". Por tanto, el concepto de "agua contaminada" depende mucho del uso que se le vaya a dar a esa agua, ya que, por ejemplo, un agua no apta para el consumo humano puede ser aceptable para los animales, etc. Los contaminantes se pueden clasificar como: **contaminantes que alteran el medio físico** y **contaminantes tóxicos**. Los primeros no afectan directamente a los organismos vivos, pero alteran de tal manera el entorno

que crean unas condiciones desfavorables para la vida. Es el caso, por ejemplo, del aumento del CO₂ en la atmósfera o del aumento de nutrientes en el agua. Los contaminantes tóxicos, por el contrario, afectan directamente a los organismos. Su toxicidad depende de la **concentración**, la **forma química** y la **persistencia**. Así, un elemento indispensable para un ser vivo en concentraciones traza puede llegar a ser tóxico en concentraciones elevadas. Por otra parte, la mayoría de metales pesados se combina con otras formas químicas para entrar en los organismos, por tanto antes de determinar la toxicidad de un elemento habrá que determinar la forma química en la que se encuentra. La persistencia se refiere al tiempo que tarda el contaminante en transformarse en una forma no tóxica. Se mide en periodos de vida media, es decir, el tiempo necesario para que desaparezca el 50 % del contaminante. Otros factores a tener en cuenta son la **bioacumulación** y la **biomagnificación**. La **bioacumulación** se refiere al proceso natural por el cual las células individuales absorben y acumulan los elementos necesarios para su correcto funcionamiento y estructura. Debido a la semejanza entre muchos contaminantes y los elementos traza esenciales, las células pueden incorporar elementos tóxicos que quedan dentro de ellas o incorporados en su membrana causando un daño letal. Muchas toxinas que están diluidas en un medio pueden alcanzar concentraciones dañinas dentro de las células. La **biomagnificación** es un proceso que se produce a nivel del ecosistema. Los compuestos tóxicos que no se excretan con facilidad por el organismo, se almacenan, como ya hemos visto. Cuando esto ocurre en los organismos primarios, es decir, los que están en la base de la cadena trófica, dicho compuesto se va concentrando cada vez más a medida que subimos en el nivel trófico. Por ejemplo, el fitoplancton absorbe un compuesto tóxico del agua y lo acumula en sus células, el zooplancton se alimenta del fitoplancton y concentra un poco más el componente tóxico, posteriormente los pequeños peces se alimentan a lo largo de su vida de multitud de organismos del zooplancton y finalmente los carnívoros (salmones, aves, ser humano) se alimentan, a su vez, de estos peces. De esta forma, cuando el componente tóxico llega al final de la cadena trófica, se ha biomagnificado cientos de miles de veces, produciendo con más facilidad la enfermedad e incluso la muerte. Un ejemplo de este fenómeno es lo ocurrido en 1953-60 en la bahía de Minamata en Japón, donde una fábrica de plásticos descargaba sus residuos que contenían mercurio. Las aguas residuales que vertía la fábrica contenían 0.1 ppb de mercurio. Las aguas de la bahía contenían 2 ppb, concentración apta para beber. El plancton tomaba el agua con mercurio pero no lo excretaba. Los peces pequeños que se alimentaban de plancton, tampoco lo excretaban y tenían una

concentración de mercurio de 200 ppb. En los grandes peces el nivel de mercurio estaba entre 4.000 y 20.000 ppb. Las familias que se alimentaron de estos peces desarrollaron la "enfermedad de Minamata" y muchos resultaron, lisiados, paralizados, perdieron su visión, capacidades mentales o murieron.

También se debe tener en cuenta la **mezcla de compuestos contaminantes**, ya que sus efectos pueden ser tanto sumatorios, sinérgicos (la toxicidad es mayor que el sumatorio de los efectos por separado) o antagónicos (la toxicidad se reduce al mezclarse), por tanto existe cierta impredecibilidad de los efectos reales de los contaminantes en el medio. Los efectos de un compuesto o de la mezcla de ellos pueden ser inocuos, letales o subletales (no matan al individuos pero producen daños a nivel genético o fisiológico). Con frecuencia los daños subletales suelen ser más perjudiciales para la población en general, ya que afectan al desarrollo o a la reproducción.

5.1 Tipos, fuentes y efectos de los contaminantes acuáticos

Existen alrededor de 1.500 sustancias clasificadas como contaminantes acuáticos, los cuales se agrupan en 8 tipos:

1. Organismos patógenos: Tienen su origen en las aguas residuales domésticas y residuos procedentes de animales. Causan enfermedades como la fiebre tifoidea, hepatitis, cólera, disentería y la poliomielitis. Estos patógenos pueden no ser detectados en un test directo de las aguas, por lo que para saber si un agua tiene contaminación fecal se recurre al recuento de coliformes (*Escherichia coli*, bacteria presente en el intestino en grandes cantidades y que no causa daño al hospedador) en una muestra diluida de agua.
2. Residuos orgánicos biodegradables: Proviene de las aguas residuales domésticas, estiércol animal, basuras industriales, restos de plantas, escorrentías naturales de la tierra y de zonas urbanas en lluvias torrenciales. Son aquellas sustancias que pueden ser degradadas por los organismos. Es esta degradación aerobia la que crea la **demanda bioquímica de oxígeno (DBO)**. Se

define como DBO la cantidad de oxígeno necesaria para descomponer la materia orgánica en una muestra de agua. En el proceso de descomposición las bacterias consumen oxígeno disminuyendo la cantidad de este elemento disuelta en el agua, lo que resulta en la muerte o migración de los peces, la muerte de las plantas acuáticas, mal olor y envenenamiento del ganado. Los peces son los mayores demandantes de oxígeno en el medio acuático, seguido de los invertebrados y las bacterias. Si la concentración de oxígeno es menor de 5 ppm la población de peces disminuye y sin embargo aumenta la cantidad relativa de invertebrados y bacterias. Como método de control se utiliza el tratamiento de las aguas y la minimización de las escorrentías agrícolas. Para la **determinación del contenido orgánico del agua** existen diferentes métodos, si bien uno de los más comunes es la **Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)**. Para trabajar en el laboratorio se hace uso del término **DBO₅** que se define como la cantidad de oxígeno disuelto consumido en una muestra de agua por los microorganismos cuando se descompone la materia orgánica a 20 °C en un periodo de 5 días. Mide el carbono orgánico biodegradable. En la tabla siguiente se exponen algunos valores de **DBO₅** para determinadas aguas.

Tipo de agua	DBO ₅ (mg/l)
Aguas limpias	< 1
Ríos contaminados	> 5
Límite sup. UE en ríos de salmónidos	3
Límite sup. UE ríos de pesca	6
Límite sup. en ríos para abasto agua potable* con solo cloración.	3
* con tratamiento estándar	5
* con tratamiento especial	7
Agua residual municipal	150-1000+
Agua residual industrial (alimentación)	miles

+ valor de DBO final, no DBO₅

La DBO final (DBO_u) se establece a los 20 días y por lo general suele tener un valor de dos veces la **DBO₅**.

3. Compuestos inorgánicos solubles en agua:

- a. Ácidos: Sus fuentes son la minería (incluso las minas abandonadas), los residuos industriales y la lluvia ácida. Mata algunos organismos (vertebrados, algunos invertebrados y microorganismos), incrementa la solubilidad de algunos metales peligrosos como el aluminio, corroe infraestructuras (puentes, puertas en canales, barcos metálicos...), daña los cultivos regados con esta agua. Como método de control se recomienda el sellado de minas en desuso, el tratamiento de las aguas y la reducción de las emisiones atmosféricas de óxidos de azufre y nitrógeno.
- b. Sales: Proviene de escorrentías naturales de la tierra y de zonas urbanas en lluvias torrenciales, de los residuos industriales y del deshielo de carreteras con sales. Causa la muerte de organismos en el agua, aumenta la salinidad de los suelos y hace el agua no apta para el uso doméstico. Los métodos de control recomendados son el tratamiento de las aguas residuales, la recuperación de la tierra de las minas, el uso del riego por goteo y la prohibición de los efluentes de salmueras.
- c. Mercurio: Se encuentra en la naturaleza a bajas concentraciones en rocas, suelos, aguas de ríos y en el aire. En estas concentraciones no es peligroso, pero su incremento llega a ser muy tóxico para los humanos, en especial su forma metilada. El incremento de concentración proviene de los residuos industriales y de los funguicidas (que absorbe la planta y pasa a los animales), pinturas (sobre todo la de los barcos), el carbón y los lodos obtenidos tras la depuración de las aguas residuales (originados en productos farmacéuticos, detergentes y pinturas). En una población de 1 millón de personas se obtiene alrededor de 500 Kg. de mercurio en las aguas residuales en un año. El mercurio inorgánico tiende a acumularse en el hígado y los riñones, y aunque es excretado por la orina el daño en los órganos permanece, en general, esta forma

inorgánica se acumula poco en los tejidos. Sin embargo, cuando el mercurio se asienta en las profundidades de los lagos es metilado por los microorganismos anaerobios y pasa a la forma de ión metilmercurio (CH_3Hg^+) y dimetilmercurio ($(\text{CH}_3)_2\text{Hg}$) que es fácilmente absorbido por los animales acuáticos y concentrado en sus tejidos grasos. De esta forma se concentra cada vez más en la cadena alimenticia. Se aconseja el tratamiento de las aguas y la prohibición de su uso si no es estrictamente necesario.

- d. Aluminio: Proviene del tratamiento de las aguas con sulfato de aluminio. A pesar de los tratamientos para eliminar el aluminio del agua siempre permanece alguna pequeña cantidad. Se ha relacionado la ingesta de aluminio con la enfermedad de Alzheimer.
- e. Cadmio: La contaminación por cadmio en el agua puede venir de fuentes industriales y de residuos de minas de zinc. Es ampliamente usado en recubrimientos metálicos y en pigmentos naranjas usados en pintura y esmaltes. Es altamente tóxico. El límite superior recomendado para el agua de beber es de 10 ppb. Causa subida de la presión sanguínea, daños en los riñones y destrucción de los glóbulos rojos.
- f. Plomo: Los carburantes con plomo, los cristales y cerámicas que contienen plomo y las tuberías antiguas, son fuentes que pueden aportar plomo al agua. Las partículas de hollín y plomo de los vehículos pueden caer sobre los cultivos y del suelo llegar a los ríos o a las aguas subterráneas. Por otra parte, en edificaciones muy antiguas todavía pueden existir tuberías de plomo. Esto no es un problema en lugares con aguas duras donde se forma un recubrimiento de carbonato cálcico, carbonato de magnesio y carbonato de plomo (II) sobre el interior de la tubería que impide que el plomo se disuelva. En aguas blandas es preciso el incremento de pH mediante la adición de hidróxido de calcio para impedir que se disuelva el plomo. La Organización Mundial de la Salud recomienda

un límite para el agua potable de 50 ug/dm³ de agua. También se ha regulado la cantidad de plomo que se disuelve de los utensilios de cocina de cerámica y cristal que contienen plomo, de tal forma que éstos solo pueden liberar 7 ppm de plomo cuando contienen alimentos ácidos.

- g. Cromo: Los compuestos de cromo (VI) son irritantes y corrosivos tanto por ingestión e inhalación como por absorción a través de la piel. Están presentes en residuos de plantas de electrodeposición. Afortunadamente en una solución acuosa es reducido a cromo (III) que es muy poco tóxico.
 - h. Níquel: Está presente en los efluentes de industrias de electrodeposición. Es carcinogénico y también muchas personas desarrollan una reacción alérgica. Causa vértigos, vómitos, tos y respiración corta. Los daños afectan sobre todo al cerebro y a los pulmones.
 - i. Cobre: El cobre (II) puede reaccionar con los grupos -SH de las proteínas. En dosis altas puede dañar el riñón, el cerebro, el hígado y los ojos.
 - j. Zinc: Procede de los efluentes de plantas galvanizadoras. Se puede considerar que no es tóxico, aunque grandes cantidades pueden provocar vómitos y diarrea.
 - k. Arsénico: Está presente en las rocas y en impurezas de los fosfatos en fertilizantes y detergentes. El nivel natural de las aguas es de 2 ppb y el límite recomendado para el agua potable de 50 ppb. Es acumulado en la cadena alimenticia y al igual que el mercurio, adquiere mayor toxicidad cuando es metilado por las bacterias a $(\text{CH}_3)_2\text{As}^+$. Los síntomas del envenenamiento por arsénico son debilidad, vómitos, diarreas, pérdida de sensación en pies y manos. En casos severos puede producir la muerte.
4. Nutrientes de plantas: son las sales de nitrato y fosfato solubles en agua. Proviene de

las basuras orgánicas, aguas residuales, lixiviados de fertilizantes de los cultivos, basuras industriales, fosfatos de detergentes y tratamiento inadecuado de las aguas residuales. Causa **eutrofización cultural**, que se define como el incremento de nutrientes vegetales inorgánicos (principalmente, fósforo y nitrógeno) en el agua producido de manera artificial. Este aumento excesivo de nutrientes genera un desequilibrio en el ecosistema acuático dando lugar a un incremento excesivo de la población de algas y una disminución de la concentración del oxígeno disuelto debido a la descomposición aeróbica de las algas muertas. Esto provoca la muerte o huida de los peces y el incremento de otras especies. Cuando las concentraciones de oxígeno son demasiado bajas toman el relevo las bacterias anaerobias que descomponen la materia orgánica en detritos que caen al fondo y generan mal olor. El tratamiento de un agua contaminada por eutrofización es muy costoso debido a que el aumento del fitoplancton obstaculiza el proceso de filtración y algunas algas unicelulares o pequeños invertebrados pueden pasar al agua doméstica. Se han descrito algunos afloramientos de algas verdiazules que han resultado ser tóxicas. Por otra parte la gente que se baña en aguas eutróficas con algas verdiazules padece irritaciones dérmicas y oculares, gastroenteritis y vómitos. Como método de control se recomienda el tratamiento avanzado de los residuos industriales y domésticos, reciclar las aguas residuales y los desechos de animales en las tierras y minimizar la erosión del suelo. Aparte de estos daños al ecosistema, el exceso de nitratos en el agua para beber también es perjudicial para la salud. Uno de los efectos es debido a que los nitratos se convierten en nitritos y éstos oxidan el hierro (II) de la hemoglobina pasándolo a hierro (III) (methemoglobina) que tiene muy poca afinidad por la molécula de oxígeno y por tanto disminuye su transporte en los vasos sanguíneos. Sobre todo los bebés menores de 6 meses son los que tienen mayor riesgo potencial. Los nitratos pueden llegar a las aguas subterráneas por filtración en las zonas de cultivo donde se ha utilizado un exceso de fertilizantes. Los fosfatos son menos solubles en agua que los nitratos y por tanto no

pasan con tanta facilidad a las aguas subterráneas. Sin embargo, su uso masivo como componente de los detergentes hace que se encuentre en grandes cantidades en las aguas residuales. Para eliminar los fosfatos de las aguas tratadas antes de verterlas de nuevo a la naturaleza hace falta un tratamiento terciario, el cual no se utiliza con frecuencia.

5. Componentes orgánicos solubles e insolubles: Lo componen aceites, petróleos, plásticos, pesticidas, disolventes, policlorobifenilos (PCBs), fenoles, formaldehídos, etc. Muchos componentes de este grupo son altamente tóxicos, incluso a concentraciones menores de 1 ppm. Es quizás en este grupo de contaminantes donde se está llevando una lucha más activa para su control y eliminación a nivel de estado y grandes organizaciones. Un ejemplo de esto es el tratado internacional acordado en Suecia en mayo de 2001 y bautizado como **Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes**. Este tratado que entró en vigor el 17 de Mayo de 2004, pretende reducir y con el tiempo eliminar totalmente los 12 contaminantes orgánicos persistentes particularmente tóxicos (Aldrina, Bifenilos policlorados (PCB), Clordano, DDT, Dieldrina, Dioxinas, Endrina, Furanos, Heptacloro, Hexaclorobenceno (HCB), Mirex y Toxafeno). Los furanos y las dioxinas son subproductos químicos. El PCB y el HCB son productos químicos industriales y el resto son plaguicidas (también el HCB puede utilizarse con este fin).
 - a. Aceites y grasas: Sus fuentes son los residuos de maquinaria y automóviles, operaciones de limpieza de tanques, rotura de tuberías, estaciones petrolíferas y las filtraciones naturales en los océanos. Sus efectos causan desequilibrios en los ecosistemas y daños en las costas, tanto económicos, estéticos o de su uso. Daño en los peces y problemas de olor y sabor en las aguas. Las medidas de control se basan en la regulación del transporte y almacenaje de estas sustancias, así como un correcto sistema de recogida y reprocesado de las estaciones de servicio e industrias.

- b. Pesticidas y herbicidas: Proviene de la agricultura, silvicultura y el control de las plagas. Sus efectos son tóxicos para peces, crustáceos, mariscos, aves predatorias y mamíferos. Se concentra en la cadena alimenticia en el tejido graso. Algunos componentes son teratógenos, cancerígenos o mutagénicos. Los métodos de control pasan por reducir su uso, prohibir los componentes más tóxicos y recurrir al control biológico y tradicional de las plagas.
 - c. Plásticos: Llegan hasta el medio desde las casas y las industrias. Produce la muerte de peces y otros efectos todavía no muy bien conocidos. Para evitar estos daños se prohíbe su llegada a los vertederos, se anima a las administraciones, empresas y población al reciclaje y a reducir su uso en el empaquetado.
 - d. Compuestos clorados: se usan en la desinfección de las aguas y en la industria de papel como blanqueantes. A veces tiene efectos dañinos en el plancton y los peces, puede producir cáncer en humanos. Como método de control se recomienda el tratamiento de las aguas residuales, el uso del ozono como desinfectante y el carbón activado para quitar las sustancias orgánicas sintéticas.
6. Sólidos en suspensión: Lo componen las partículas insolubles o demasiado grandes para disolverse rápidamente. Los sólidos tienden a depositarse en el fondo, pero esto depende del tamaño, el flujo del agua y la turbulencia. Determinadas partículas con un tamaño entre 1 μm y 1 nm pueden permanecer en suspensión indefinidamente. A estas partículas se les conoce con el nombre de coloide. Los sólidos en suspensión pueden tener el efecto de aumentar el grado de turbidez del agua, impidiendo que la luz penetre correctamente, dando lugar a una reducción de la tasa fotosintética y del crecimiento de las plantas. Estas partículas pueden venir de las aguas residuales, de la erosión natural debida a la mala conservación de los suelos, de la

minería, la agricultura, la silvicultura y la construcción. Son una gran fuente de contaminación, principalmente, en ríos transitados, canales y puertos. Reducen la población de peces, mariscos y crustáceos. Por otra parte, también se reduce la capacidad del agua de asimilar basuras orgánicas. Como método de control se recomienda el tratamiento de las aguas residuales y una mejor conservación de los suelos.

7. Sustancias radiactivas: Proviene de fuentes naturales, de las minas y el procesamiento del uranio, de las centrales generadoras de energía nuclear y de las pruebas de armamento nuclear. Son sustancias cancerígenas y mutagénicas. Como método de control se recomienda la prohibición o reducción del uso de la energía y armas nucleares, así como un control estricto del procesamiento de las basuras nucleares.

8. Polución térmica: Es generada por los efluentes de aguas residuales calientes de las torres de refrigeración de las centrales eléctricas y algunas industrias. Este aumento de la temperatura del agua reduce la solubilidad del oxígeno en el agua, puede matar a los peces, incrementa la susceptibilidad de algunos organismos acuáticos a los parásitos, enfermedades y toxinas. Aumenta la tasa de descomposición de los residuos orgánicos biodegradables y produce un desequilibrio en los ecosistemas acuáticos, como en la reproducción de los peces. Entre los métodos de control recomendados están la reducción del uso de la energía, enfriar el agua con aire, devolver el agua caliente a charcas o canales, usarla como calefacción en casas edificios o invernaderos o para regar.

6. Usando CASTOR-WATER por primera vez

El sistema de simulación de procesos de contaminación del agua CASTOR-WATER ofrece, tanto al principiante como al programador experto, un método rápido y efectivo para evaluar numéricamente la dispersión de contaminantes en el agua. El programa está basado en el sistema operativo Microsoft WINDOWS donde hace uso intensivo del ratón y de ventanas gráficas. Las barras de iconos facilitan al usuario la realización de las distintas tareas del programa.

Con ello, podemos decir, con una cierta seguridad, que el software CASTOR-WATER es una de las mejores herramientas, si no la mejor y más sencilla, para realizar simulaciones numéricas de procesos de contaminación del agua. Independientemente de la experiencia que posea el usuario en lenguajes de programación o en el uso de herramientas de simulación, en pocos minutos podrá disponer de los primeros resultados.

Debido a las características del paquete informático CASTOR-WATER, que permite ejecutar inmediatamente el proceso de contaminación deseado, la simulación numérica se realiza con una velocidad notable. De esta manera, el usuario puede olvidarse de dedicar tiempo a la programación de lenguajes científicos a la hora de buscar resultados.

Este manual pretende describir el manejo y las posibilidades de CASTOR-WATER a base de ejemplos incluyendo todo el proceso de simulación que es capaz de realizar el paquete informático. No es estrictamente necesario el poseer conocimientos sobre el manejo del sistema operativo Microsoft WINDOWS si bien resulta recomendable. A lo largo de la presente sección simularemos algunos pequeños procesos de contaminación del agua cuyo desarrollo ilustrará el uso del programa en el caso de sistemas complejos. Describiremos la sucesión de pasos necesaria para poder simular un proceso de contaminación del agua haciendo uso del presente paquete informático.

Si el usuario nunca ha realizado programación no debe de tener ningún miedo a la hora de acceder al programa ya que el software hace uso de una interfase gráfica que permite que personas no expertas puedan realizar simulaciones numéricas

complejas. El uso del programa es equiparable a la manera que tenemos de razonar. De esta manera, podremos simular muchos procesos de manera intuitiva. La idea será que introduciremos, primero, los elementos contaminantes con sus características haciendo uso del ratón y de la pantalla gráfica del programa y, posteriormente, ejecutaremos el proceso de simulación en el que el ordenador realizará todos los cálculos. Una vez obtenidos todos los resultados, éstos se podrán guardar en un archivo cualquiera.

6.1 El paquete de CASTOR-WATER

El sistema CASTOR-WATER requiere un soporte WINDOWS 95 o superior. El procesado numérico de datos se realiza a 32 bits. Cualquier ordenador que pueda soportar WINDOWS 95 o superior puede ejecutar el programa. Sin embargo, el programa hace uso de memoria de una manera importante cuando tratamos de realizar cálculos con un gran número de puntos receptores. Por ello, para realizar un uso óptimo del software es interesante contar con unos requisitos mínimos de memoria RAM y de velocidad de reloj del procesador. A partir de 120 MHz de velocidad de reloj y de 16 MB de memoria RAM se pueden realizar cálculos precisos y complejos en unos pocos minutos.

6.2 Instalación

El software CASTOR-WATER se suministra en CD-Rom. El CD-Rom contiene un programa de instalación que permite copiar el programa al disco duro del ordenador. Este programa de instalación puede ejecutarse de diversas formas tal y como se puede hacer mediante WINDOWS 95 o superior:

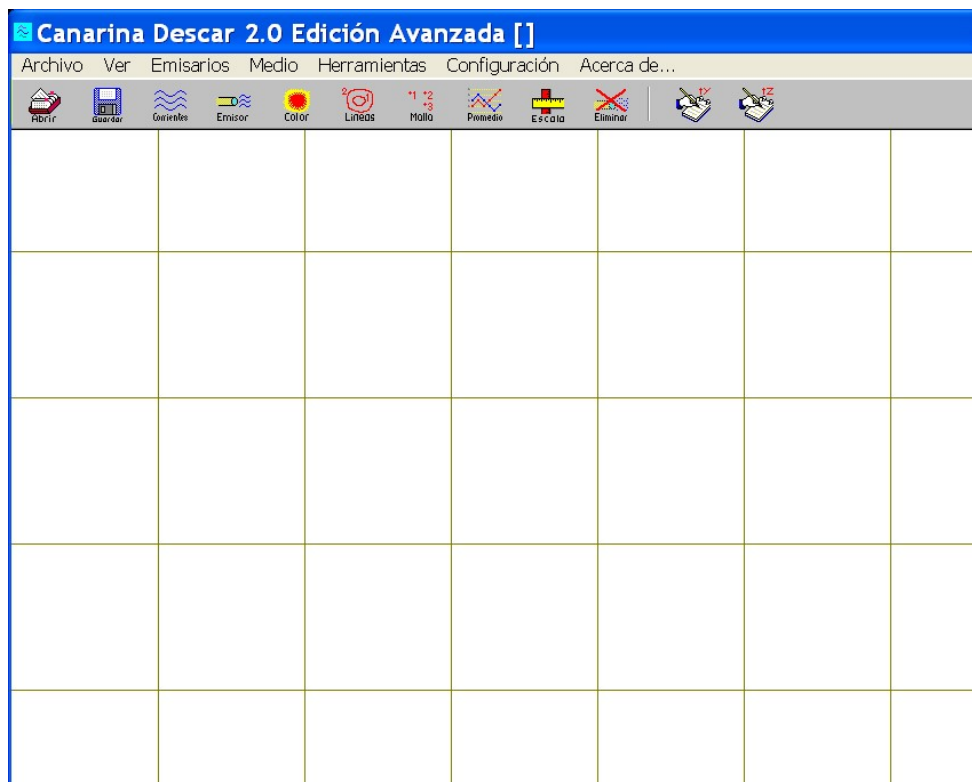
- Ir a la barra de tareas y hacer **click** con el ratón en *Inicio*, luego hacer **click** en *Ejecutar* y escribir en *Abrir* **e:\instalar** (siendo e:\ la unidad para el CD-Rom) Se ejecutará el programa de instalación.
- Ir a Mi PC y hacer doble **click**. Al abrirse la ventana, hacer doble **click** en **e:**, siendo e:\ la unidad para el CD-Rom. A continuación buscar en la nueva ventana el icono que pone **instalar** y hacer doble **click** sobre él.

- Ir a la barra de tareas y hacer **click** con el ratón en **Inicio**, luego hacer **click** en **Programas** y buscar el **Explorador de Windows** y hacer **click** sobre él. Seleccionar, **e:**, siendo e:\ la unidad para el CD-Rom, y a continuación buscar en la nueva ventana el icono que pone **instalar** y hacer doble **click** sobre él. El programa de instalación empezará a ejecutarse.

Si ya tiene instalada una versión previa de CASTOR-WATER deberá eliminarla antes de instalar la nueva versión para evitar conflictos numéricos.

6.3 Configuración y arranque

Una vez finalizada la instalación del programa, se podrá ejecutar de la siguiente manera. Ir a la barra de tareas y hacer **click** con el ratón en **Inicio**, luego hacer **click** en **Programas** y buscar CASTOR-WATER y hacer **click** sobre él. A continuación deberá de aparecer la pantalla principal del programa tal y como se muestra.



CASTOR-WATER se ajustará a las especificaciones vigentes en WINDOWS. Esto afectará al tipo de letra, a los atributos de color y de pantalla y a la selección de la impresora. Si se desean cambiar tendrán que cambiarse dichos atributos en el sistema WINDOWS y CASTOR-WATER, al ser reiniciado, los asumirá como propios.

7. Los elementos de CASTOR-WATER

Una vez arrancado el programa, CASTOR-WATER aparecerá como una ventana única que llenará toda la pantalla. Para aprovechar al máximo las posibilidades gráficas del ordenador, dicha ventana ocupará todo el ancho de la pantalla. Para evitar que la barra de tareas de Windows quede encima de la ventana del programa y no deje ver la parte inferior del mismo, puede hacer 'click' con el botón derecho del ratón sobre la barra de tareas y activar 'propiedades'. En 'propiedades' podrá activar la opción "Ocultar la barra de herramientas" para visualizar plenamente la pantalla antes de ejecutar CASTOR-WATER. Si se desea operar simultáneamente alguna que otra aplicación WINDOWS deberemos de minimizar la aplicación manteniéndola activa. Si hacemos click sobre el elemento superior derecho de la aplicación que tiene una forma de '-' podremos minimizar la aplicación. Si hacemos click sobre el elemento en forma de 'x' cancelaremos la ejecución del programa.

En la parte superior de la pantalla se encuentra la barra con el menú principal. En dicha barra nos encontramos con los grupos de comandos agrupados bajo los nombres de **Archivo**, **Ver**, **Emisarios**, **Medio**, **Herramientas**, **Configuración** y **Acerca de...**

Debajo está la barra de herramientas y nos encontramos con las funciones más habituales de CASTOR-WATER que vienen en forma de iconos para su fácil utilización. En la barra de herramientas nos encontramos con las funciones de **Abrir**, **Guardar**, **Corrientes**, **Emisor**,... que serán habitualmente utilizadas por el usuario.

El espacio en blanco del centro, que en principio está vacío, se utilizará para dibujar y simular los procesos de contaminación del agua en dos dimensiones. En dicho espacio hay una cuadrícula para ayudar a la realización del dibujo en al caso de planos horizontales paralelos al suelo. Los dibujos se realizarán en dos tipos de plano diferentes que son paralelos a la superficie del agua y perpendiculares a la superficie del agua. El origen de coordenadas será la esquina inferior izquierda de la pantalla que se corresponderá con el punto (X=0, Y=0) para planos XY (paralelos a la superficie del agua) y (X=0, Z=0) para planos XZ (perpendiculares a la superficie del agua).

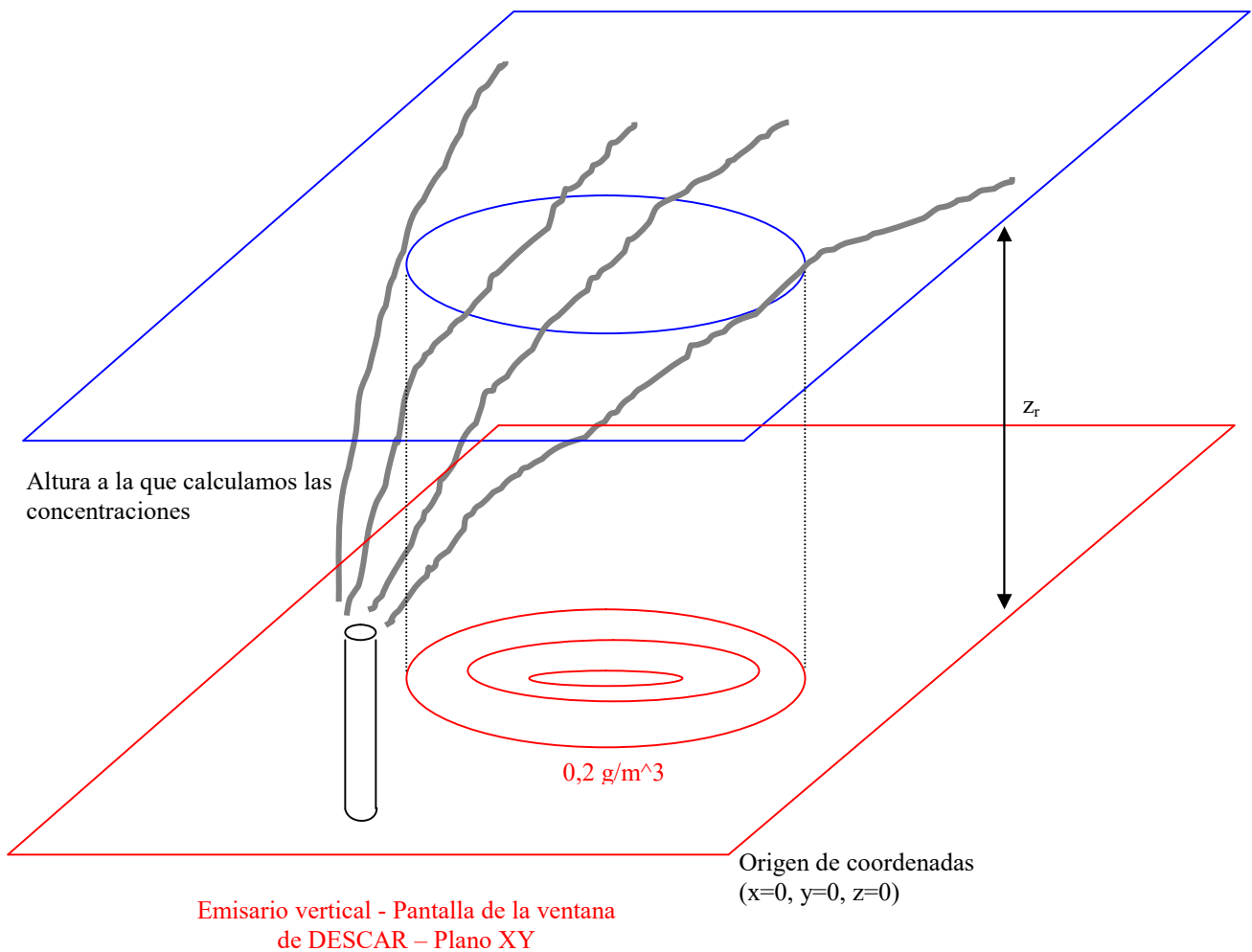
Planos paralelos a la superficie del agua:

En CASTOR-WATER , la representación se realizará como si se viera el proceso desde el cielo en el caso de planos paralelos a la superficie del agua. El punto de salida de un emisario submarino contaminante quedará representado como un pequeño punto en el plano ya que lo vemos desde arriba.

Debajo del espacio en blanco del centro nos encontramos con indicadores que nos dan información de nuestro sistema ambiental. En la parte inferior izquierda tenemos los indicadores de la coordenada **X**, **Y** y **Z** de la representación que estamos actualmente visualizando. Los valores están en metros (m) y podemos darnos cuenta de que al mover el cursor sobre la pantalla los valores de **X** e **Y** que figuran en las casillas cambian. También podemos ver que aparece una cuadrícula que divide a la pantalla con el fin de facilitar el dibujo. Hay diez cuadrículas a lo largo del eje X.

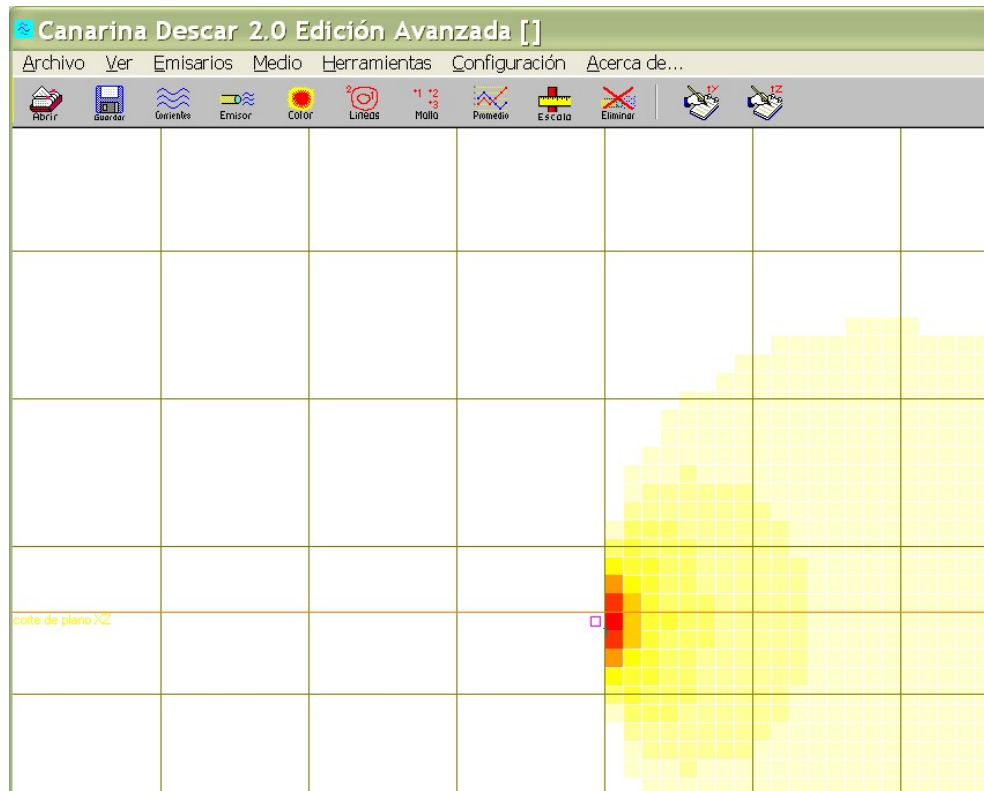
En la parte inferior derecha nos encontramos con dos casillas diferentes donde nos indicarán la altura a la que estamos realizando la simulación y la concentración de contaminante en el punto exacto donde tenemos situada la flecha del ratón en gramos por metro cúbico (g/m³). Aparecen hasta seis cifras decimales por si se deseara trabajar con mili- o micro- gramos. Recordemos que 1g/m³=1mg/L.

CASTOR-WATER evaluará las concentraciones de contaminante en el agua de la siguiente manera. Las concentraciones se obtendrán en puntos de planos bidimensionales paralelos a la superficie



del mar (plano XY) que se representarán en la ventana principal de la aplicación. Para elegir el plano de corte que queremos para evaluar la contaminación, fijaremos una cierta altura sobre el nivel del emisorio (z_r). Todos los puntos que forman el plano XY, que usaremos para evaluar la contaminación, estarán a una altura z_r . Cambiando la altura de corte z_r podremos evaluar la dispersión en cualquier punto del espacio. Esto se visualiza claramente en la anterior figura. Realizaremos cortes a alturas diferentes del penacho tridimensional del emisorio submarino para obtener representaciones en el plano de las concentraciones de contaminante. Podremos hacer tantos cortes (y cálculos) como queramos. Para evitar confusiones, en el programa introduciremos la altura con respecto a la superficie del agua para decidir cual será el plano de corte. Ejemplo de plano XY

calculado por CASTOR-WATER donde el punto fucsia representa la posición del emisario.



Planos perpendiculares a la superficie del agua:

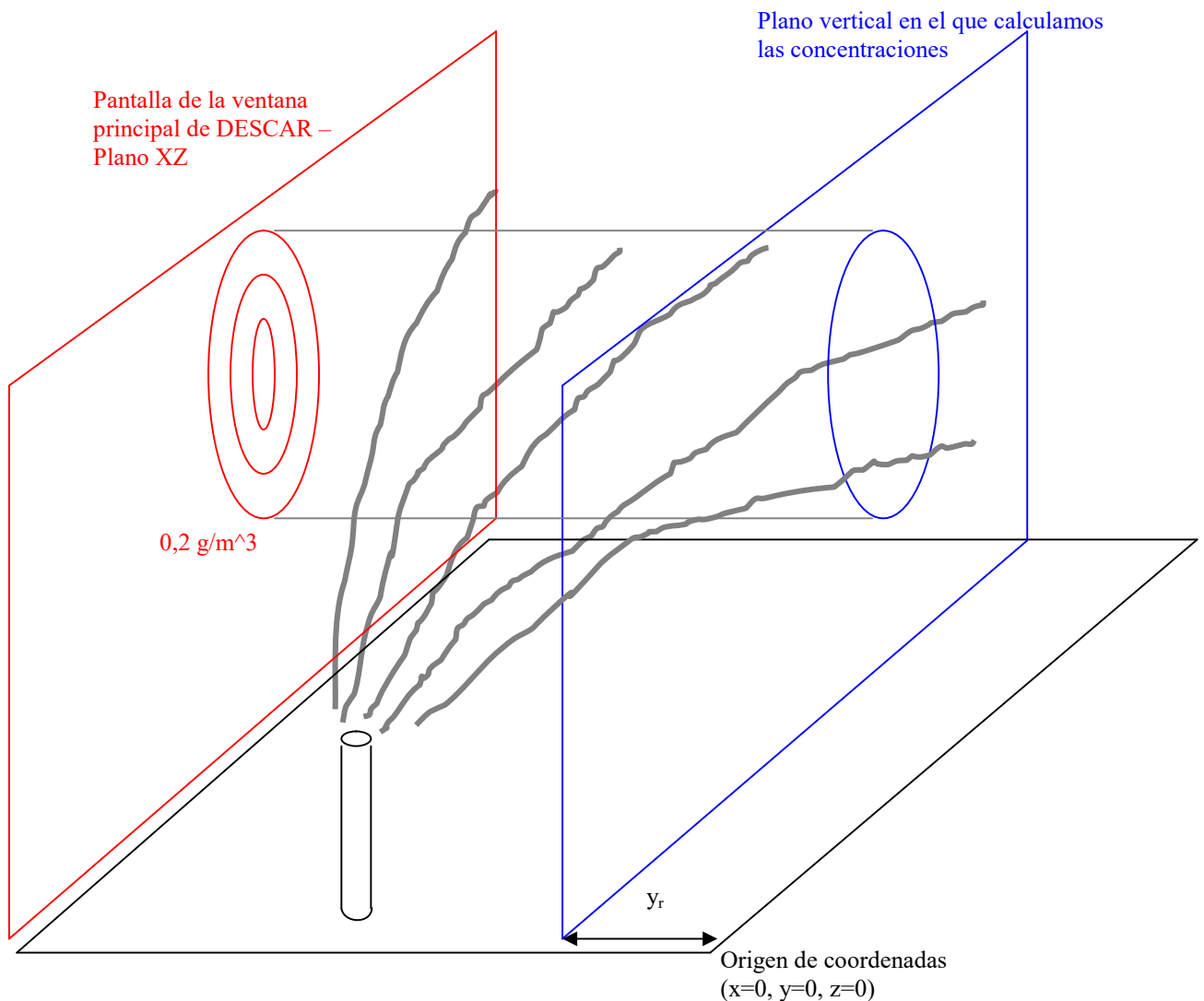
En CASTOR-WATER , la representación se realizará como si se viera el proceso desde el lado Sur del emisario. El punto de salida de un emisario submarino contaminante quedará representado como un pequeño conducto.

Debajo del espacio en blanco del centro nos encontramos con indicadores que nos dan información de nuestro sistema ambiental. En la parte inferior izquierda tenemos los indicadores de la coordenada **X**, **Y** y **Z** de la representación que estamos actualmente visualizando. Los valores están en metros (m) y podemos darnos cuenta de que al mover el cursor sobre la

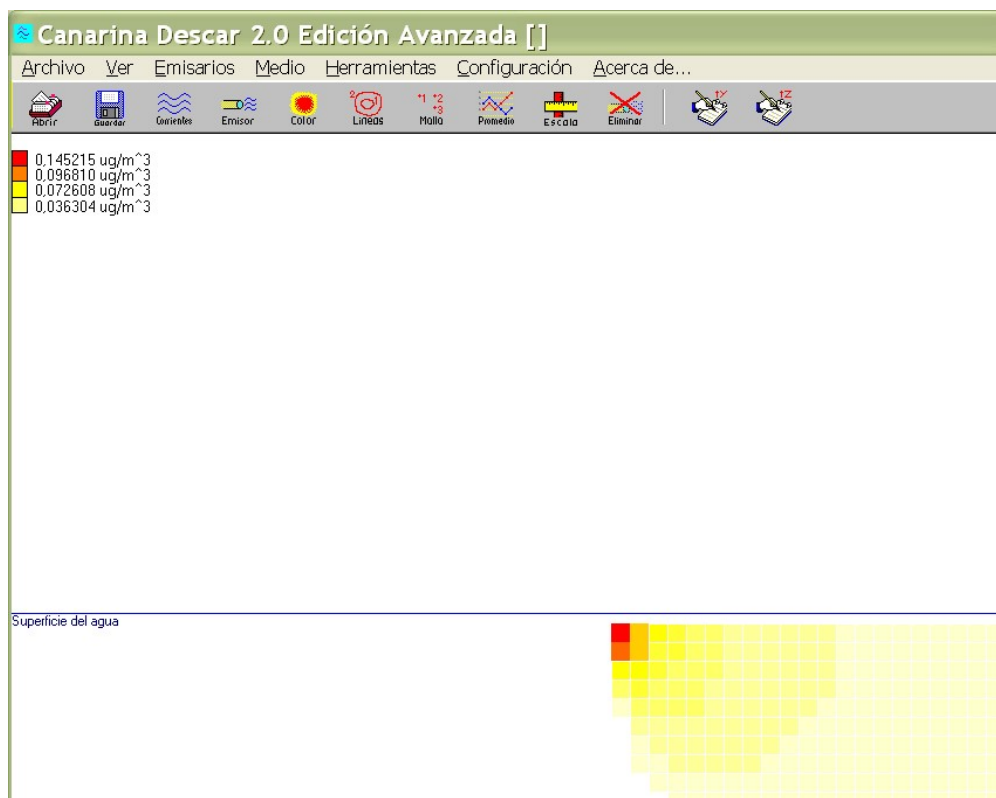
pantalla los valores de **x** e **z** que figuran en las casillas cambian.

En la parte inferior derecha nos encontramos con dos casillas diferentes donde nos indicarán la altura a la que estamos realizando la simulación (Z), en el plano XY, y la concentración de contaminante en el punto exacto donde tenemos situada la flecha del ratón en gramos por metro cúbico (g/m³).

CASTOR-WATER evaluará las concentraciones de contaminante en el agua de la siguiente manera. Las concentraciones se obtendrán en puntos de planos bidimensionales perpendiculares a la superficie

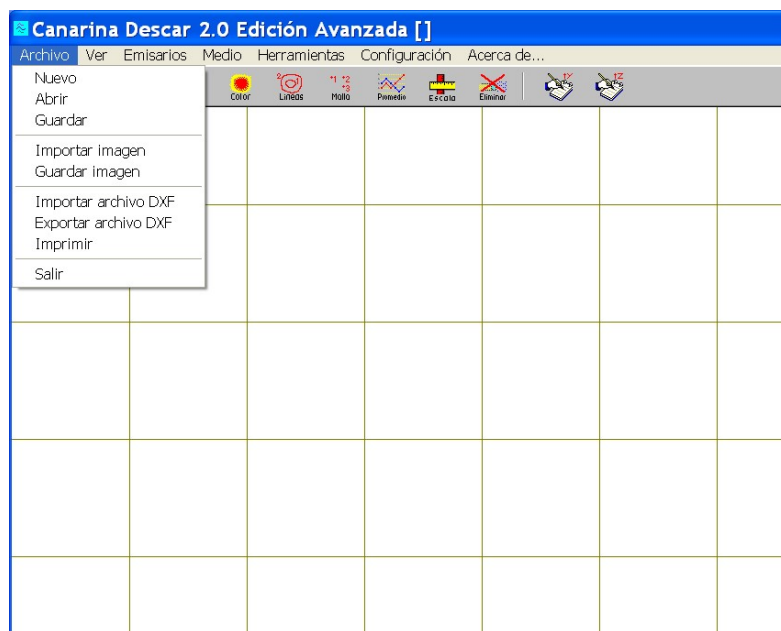


del mar (plano XZ) que se representarán en la ventana principal de la aplicación. Para elegir el plano de corte que queremos para evaluar la contaminación, fijaremos una cierta distancia sobre el origen de coordenadas (yr). Todos los puntos que forman el plano XZ, que usaremos para evaluar la contaminación, estarán a una distancia yr del origen de coordenadas. Cambiando la distancia de corte yr podremos evaluar la dispersión en cualquier punto del espacio en planos verticales (XZ). Esto se visualiza claramente en la anterior figura. Realizaremos cortes a distancias diferentes del penacho tridimensional del emisario submarino para obtener representaciones en el plano de las concentraciones de contaminante. Podremos hacer tantos cortes (y cálculos) como queramos. Introduciremos la distancia con respecto al origen para decidir cual será el plano de corte XZ. Ejemplo de plano XZ calculado por CASTOR-WATER donde la línea azul representa la superficie del agua y el punto fucsia el emisario sobre el fondo verde del mar.



7.1 El menú

El menú ofrece todo lo necesario para trabajar con CASTOR-WATER. Las funciones más frecuentes se ven reflejadas, de una manera equivalente, en la barra de iconos situada debajo del menú. De esta manera, se facilita el trabajo con el paquete informático CASTOR-WATER. El uso del menú es el habitual del sistema operativo Windows, es decir, si hacemos **click** con el ratón sobre el nombre de cualquier menú, se desplegará el menú y podremos seleccionar una de sus opciones haciendo, de nuevo, **click** con el ratón sobre dicha opción. También podemos trabajar con la otra opción del sistema Windows que consiste en pulsar la tecla **ALT** y, a continuación, pulsar la letra subrayada que aparece en pantalla, para cada menú, para su activación. Por ejemplo, si realizamos **click** sobre **Archivo** se desplegará el siguiente menú:



7.1.1 Archivo

El menú archivo incluye todo lo relacionado con los ficheros de las simulaciones. Estos ficheros pueden estar referidos a situaciones que queremos simular, o bien, que ya hemos simulado y guardado los resultados. El menú archivo contiene los siguientes comandos **Nuevo**, **Abrir**, **Guardar**,

Importar Imagen, Guardar Imagen, Imprimir, Imprimir imagen y Salir.

Nuevo.- Esta opción es para comenzar una simulación nueva o para borrar todo lo que se ha hecho previamente. Al ejecutarse se elimina todo lo anteriormente hecho, incluidos los dibujos y los resultados de las concentraciones del contaminante.

*Por lo tanto, si ya hemos estado previamente trabajando en un proceso determinado, y no queremos perder el trabajo realizado, deberemos de guardar el trabajo con la opción **Guardar** antes de ejecutar el comando **Nuevo**. **CASTOR-WATER** no permite abrir mas de un fichero a la vez para poder así optimizar la memoria disponible y la velocidad de cálculo.*

Abrir.- Este comando es para abrir un fichero en el que, previamente, hemos guardado una simulación de un proceso de contaminación del agua. Los archivos con los resultados de las simulaciones tienen una terminación ***.ems**. Si hacemos **click** sobre el botón de **Abrir**, podremos seleccionar el archivo ***.ems**. que hayamos guardado previamente. Posteriormente activaremos el botón de aceptar y podremos abrirlo.

*Al **Abrir** un fichero se pierde todo lo que tengamos almacenado en pantalla (resultados del cálculo, fuentes,...) por lo que deberemos hacer uso de la función **Guardar** para no perder la información.*

Guardar.- Este comando es para guardar un fichero en el que, previamente, hemos estado trabajando en una simulación de un proceso de contaminación del agua habiendo obtenido resultados o no. Al hacer **click** sobre **Guardar** se abrirá una ventana de la misma forma que cuando ejecutábamos el comando **Abrir**. Los archivos con los resultados de las simulaciones y con las simulaciones propuestas tienen una terminación ***.ems**. Si hacemos **click** sobre el botón de **Guardar**, guardaremos el archivo. Si deseamos guardar el archivo con otro nombre diferente, podremos escribir otro nombre en la casilla **Nombre del archivo** y, de esta manera, lo guardaremos con dicho nombre tras pulsar el botón **Guardar**.

El proceso de guardar un archivo se realiza de forma proporcional al tamaño en el que se disponen los elementos en la pantalla. Por ello, el fichero guardado dependerá del formato de pantalla que estemos utilizando. Si tratamos de leer un archivo guardado en otro formato de pantalla diferente podremos tener problemas en el momento de la lectura.

Importar imagen..- Con esta función podrá importar planos, imágenes, fotos (previamente guardadas en formato BMP) como imágenes de fondo en la ventana principal de CASTOR-WATER .

La mayoría de los programas de dibujo que hay en el mercado (AutoCad, 3d Studio, ArcView,...) trabajan con dicho formato para facilitar el intercambio de información.

El tamaño de la imagen dependerá del tamaño en que haya sido guardada previamente. Para modificar tamaños de imagen, valores de zoom y formatos de archivos (JPEG, BMP; JPG,...) podrá hacerlo mediante programas que traten imágenes (el programa PAINT de Microsoft Windows, Adobe Photoshop,...). También podrá importar planos de dibujo de AutoCAD que hayan sido previamente guardados en formato BMP. En AutoCAD R14 deberá de seleccionar (marcando con el ratón) los elementos del dibujo que desee exportar en formato BMP antes de realizar la operación. Para asociar un tamaño físico real en metros a la imagen que hemos importado haremos uso de la función ESCALA (ver más adelante). Si la imagen llena exactamente la ventana principal de CASTOR-WATER , el ancho del eje X será igual al ancho en metros que se representa en la imagen. Si la imagen representa un plano de 100 m de ancho y ocupa la mitad del eje X, fijaremos un ancho del eje X igual a 200m y así sucesivamente.

Nota sobre las imágenes de fondo en formato BMP: Con la edición avanzada podrá importar/exportar imágenes de fondo mediante archivos del tipo BMP (planos, fotografías aéreas, ...). Dichas imágenes las carga el programa como un fondo estático fijo y no interaccionan para nada con el cálculo. La función Zoom del programa no actúa sobre las imágenes de fondo. Debemos agrandar o empequeñecer las imágenes de fondo mediante cualquier programa gráfico que hay en el mercado o en el mismo sistema operativo Windows, guardarlas y posteriormente cargarlas en nuestro programa y, finalmente, exportarlas con los resultados

de la simulación. El ancho en metros de la zona de cálculo se introducirá de acuerdo al ancho real que tiene la imagen de fondo que hemos cargado. El tamaño de la imagen que se importa/exporta será el de la pantalla de Windows del ordenador que es en el que trabaja el programa (por ejemplo, 1280x1024). La función Zoom solo actúa para centrar el cálculo en una región determinada de la pantalla total y no sobre las imágenes que están cargadas de fondo.

Guardar imagen..- Este comando es para guardar la imagen que, previamente, hemos generado en una simulación de un proceso de contaminación del agua habiendo obtenido resultados numéricos o no. La utilidad del comando consiste en que generaremos un archivo del tipo ***.bmp** que se podrá importar a los diferentes procesadores de texto que hay en el mercado (Microsoft Word, Lotus SmartSuite,...). Con este comando se guarda la pantalla de trabajo en un archivo del tipo ***.bmp**. El archivo guardado lo podremos importar en los diferentes procesadores de texto que hay en el mercado como el *Microsoft Word, Lotus Word Pro,...* mediante comandos del tipo **importar imagen** y, de esta manera, incorporarlo a archivos de texto.

Imprimir..- Este comando es para imprimir la pantalla de trabajo. Al accionarlo imprimiremos los gráficos que tengamos dispuestos en pantalla. Solamente se imprimirá la zona de la pantalla de trabajo. La impresión que se obtendrá es un gráfico sencillo. Si deseáramos añadir letreros al dibujo, cambiar tamaño, modificar marcos... deberemos hacer uso de la función **Guardar imagen** y trabajar con programas como *Microsoft Word, Adobe Photoshop,...* o el propio programa *Paint* que viene incorporado en el sistema Windows.

La impresión se realiza de forma proporcional al tamaño que disponemos en pantalla. Por ello, el tamaño obtenido dependerá del formato de pantalla que estemos utilizando. Si el tamaño obtenido no se ajusta bien al papel de salida podremos cambiar la configuración en el software que suele acompañar a la impresora.

La función imprimir NO imprime las imágenes de fondo cargadas en el programa. Si deseamos imprimir imágenes de fondo y resultados deberemos guardarlos previamente en formato imagen

(* .bmp) e imprimirlos en cualquier otro programa que trabaje con el formato BMP de imagen (el Paint del sistema operativo Windows) o bien usar la función **Imprimir imagen**.

Imprimir imagen.- Este comando es para imprimir la pantalla de trabajo con imagen de fondo incluida. Al accionarlo imprimiremos los gráficos que tengamos dispuestos en pantalla. Se producirá un volcado de pantalla bit a bit por lo que la calidad puede no ser buena si se trabaja con impresoras láser en cuyo caso recomendamos exportar la imagen e imprimirla en cualquier otro programa del mercado.

Salir.- Este comando es para salir del programa. Al accionarlo saldremos de la aplicación.

7.1.2 Ver

En esta opción del menú podrá encontrar las siguientes funciones. Zoom, Dibuja cuadrícula, Elimina cuadrícula, Dibuja imagen de fondo, Elimina imagen de fondo, Plano XY y Plano XZ.

Zoom.- La función Zoom se utilizará para ampliar la vista del archivo con el que se está trabajando cuando estemos en el Plano XY. Es de bastante utilidad cuando cargamos un archivo de un cierto tamaño y solamente estamos interesados en una pequeña región del mismo. El Zoom nos permitirá ampliar en detalle la región de interés. El cálculo de concentraciones se realizará en el área seleccionada por el Zoom en el Plano XY. De esta manera, podemos colocar una fuente emisora en un extremo y evaluar en detalle el mapa de concentraciones en una región concreta y ampliada del extremo opuesto. Los cálculos realizados se guardarán teniendo en cuenta el valor del Zoom en el momento en que fueron ejecutados. Haciendo uso de las barras de desplazamiento que figuran en la parte inferior y lateral derecha de la pantalla nos podremos desplazar a lo largo del dibujo ampliado.



Si tenemos cargada una imagen de fondo en el Plano XY, la función zoom no podrá activarse (se perdería resolución de imagen).

Fondo negro de Pantalla.- Esta función nos permite establecer un fondo negro de pantalla en la representación gráfica. Su

interés radica en poder tener una visión más relajada de la pantalla del ordenador.

Fondo blanco de Pantalla.- Esta función nos permite establecer un fondo blanco de pantalla en la representación gráfica.

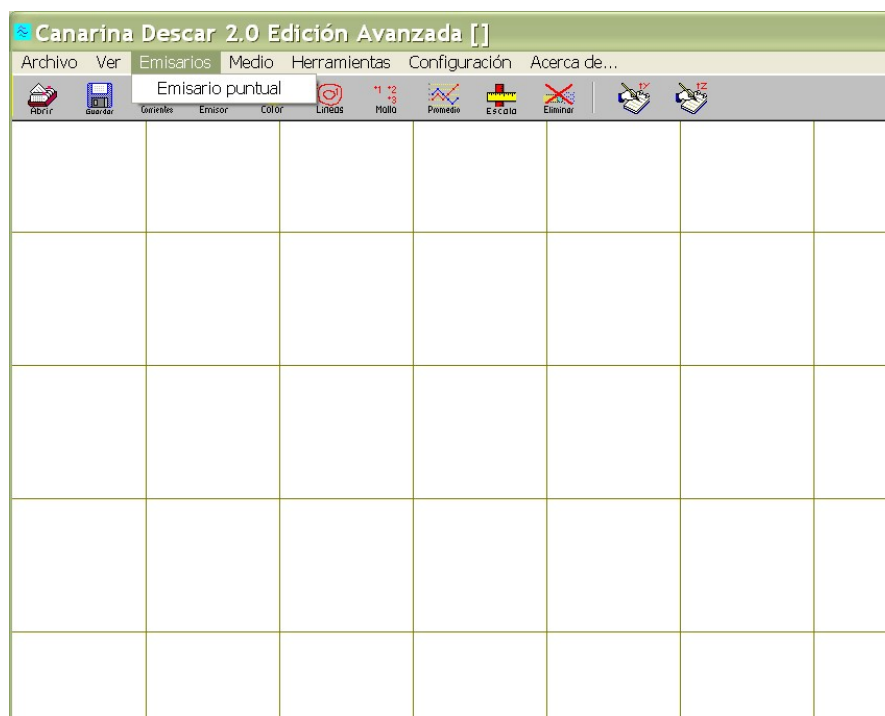
Dibuja y Elimina Cuadrícula.- La cuadrícula amarilla que aparece en el fondo de pantalla cuando tenemos una visión el Plano XY tiene por objeto el facilitar la realización del dibujo y podrá ser eliminada o no con estas dos funciones.

Dibuja y Elimina imagen de fondo.- Una vez que hemos cargado un archivo como imagen de fondo para Planos XY, podemos hacer uso de estas dos funciones para que aparezca en pantalla o no dicho dibujo. Muchas veces resulta incómoda la visualización de los resultados con un plano de fondo complejo cargado.

Plano XY y Plano XZ.- Con estas funciones visualizaremos la simulación numérica en el Plano XY y XZ.

7.1.3 Emisarios

El menú Emisarios nos muestra las fuentes contaminantes con las que podemos trabajar haciendo uso de CASTOR-WATER . Al hacer **click** con el ratón sobre dicho menú se desplegará la siguiente opción:



Emisario puntual.- Se refiere a un foco contaminante, fijo en una posición del espacio, y que es pequeño en relación al tamaño del área en el que estamos realizando la simulación. Un ejemplo típico puede ser el de un emisario submarino. Si consideramos, por ejemplo, un área de varios kilómetros cuadrados en nuestros ejes X e Y, el tamaño de el agujero de salida de un emisario submarino de medio metro de diámetro podrá considerarse como un punto material en nuestra simulación. Por ello, lo trataremos como una fuente puntual.

Al hacer **click** sobre la opción Emisario puntual del menú lo que aparece es una ventana de la siguiente forma:

Propiedades del emisario subm

Velocidad de salida del contaminante (m/s):	<input type="text" value="3.01"/>	Altura del emisario debajo de la superficie del agua (m):
Concentración de contaminante (g/m ³):	<input type="text" value="100"/>	Caudal de salida de contaminante (m ³ /s):
Tipo de descarga <ul style="list-style-type: none"> <input checked="" type="radio"/> Descarga vertical hacia arriba <input type="radio"/> Descarga horizontal tipo A <input type="radio"/> Descarga horizontal tipo B 		Densidad del líquido contaminante emitido (kg/m ³):
		Ángulo del emisario (de 0 a 360):
		Longitud del difusor:

donde se indican las propiedades del emisario. Dichas propiedades las podremos cambiar según el proceso de contaminación que deseemos simular. Bastará con hacer **click**

con el ratón sobre cada una de las casillas que aparecen. A continuación aparecerá el cursor parpadeando y podremos usar las teclas de **borrar** y el teclado para introducir los valores deseados. Cuando tengamos los valores escritos en las casillas, haremos **click** con el ratón sobre la tecla **Aceptar** y quedarán introducidos los nuevos valores y desaparecerá la ventana anterior. Si pulsamos el botón **Cancelar** desaparece la ventana sin introducir los cambios realizados. Las casillas se activarán según el modelo que tengamos activado: Modelo de penacho con curvatura o Modelo estratificado (Ver Modelos del Cálculo).

Modelo de penacho con curvatura:

Las magnitudes a introducir en las propiedades de la fuente puntual para el Modelo de penacho con curvatura son:

Velocidad de salida del contaminante u_a (m/s): Es la velocidad de salida del agua por el orificio del emisario submarino. Se expresa en metros por segundo (m/s). Las velocidades típicas en emisarios submarinos suelen ser de pocos m/s, por ejemplo unos 3 m/s.

Concentración de contaminante (g/m^3): Es la concentración de contaminante que deseamos estudiar y que hay en el líquido que se emite al medio por el emisario submarino. Se expresa en gramos por metro cúbico (g/m^3). Las aguas fecales pueden tener una concentración de unos $350 g/m^3$ de DBO. El programa trabaja con g/m^3 todo el rato ya que son las unidades típicas. No obstante piense que el programa calcula la dilución del contaminante en cada punto y obtiene la concentración de contaminante en cada sitio dividiendo la concentración por dicha tasa de dilución que no tiene unidades. Es decir, si introduce un valor de 120 en esta casilla, que corresponden a 120ppm, el mapa que aparecerá en pantalla después del cálculo como g/m^3 lo podremos tomar como mapa en unidades ppm si queremos hacerlo así. Otra opción sería pasar los ppm a g/m^3 , introducirlos y, posteriormente, hacer el cálculo y obtener todo en g/m^3 y evitar así confusiones.

Altura del emisor bajo el nivel de la superficie del agua (m): Es la altura desde la boca de salida del emisario

submarino hasta el nivel de la superficie del agua. Se expresa en metros (m).

Caudal de salida del contaminante: Es la cantidad de materia con contaminante que sale en la unidad de tiempo por el orificio de salida del emisario submarino. Dicha magnitud física se conoce como Caudal. Viene expresado en metros cúbicos por segundo (m^3/s). Los valores típicos del caudal dependerán del emisario en estudio. Podemos darnos cuenta de que si fijamos el caudal y la velocidad de salida del emisario, también determinamos el tamaño del orificio de salida ya que el caudal es igual al área del orificio por la velocidad de salida. $Caudal = \text{área} \times u_a$. Por ejemplo, un emisario con un orificio de salida de $1m^2$ de área que emita contaminante a $0,5 m/s$ de velocidad tendrá un caudal de $1m^2 \times 0.5m/s = 0,5m^3/s$.

Densidad del líquido emitido con contaminante (kg/m^3): Es la densidad del líquido que emite el emisario submarino y que contiene al contaminante que queremos estudiar. Se expresa en kilos por metro cúbico (kg/m^3). Suelen tener un valor muy parecido a la del agua pura $1.000 kg/m^3$.

Opción tipo de descarga: Hay tres opciones. La descarga vertical en la que el contaminante sale hacia arriba y la descarga horizontal A y B en la que el contaminante sale en paralelo a la superficie del agua. Dichas opciones corresponden al diseño físico del emisario en estudio que puede tener la boca apuntando hacia arriba o en paralelo a la superficie del agua. El programa CASTOR-WATER considera que, en el caso de descarga en paralelo a la superficie, la dirección de salida del contaminante es siempre perpendicular a la dirección de la corriente. Esto se hace para simplificar el problema matemático del cálculo y es una aproximación que recogen los diferentes modelos que nos podemos encontrar en el mercado. Definiendo la dirección de la corriente fijamos también la dirección (perpendicular a ésta última) de la salida de contaminante del emisario. Las opciones A y B nos dan la posibilidad de elegir los dos sentidos posibles de la descarga en paralelo perpendicular a la corriente. Con la opción A y con una corriente que fluye hacia el Este tenemos una descarga en dirección Sur. Con la opción B y con una corriente que fluye hacia el Este tenemos una descarga en dirección Norte. Esto se puede comprobar fácilmente observando las diferentes estelas de contaminante que dejan los emisarios en el cálculo.

Modelo estratificado:

Las magnitudes a introducir en las propiedades de la fuente puntual para el Modelo estratificado son:

Angulo del emisario(grados): Es el ángulo del emisario. Se expresa grados (de 0 a 360) y está referido al Norte (0 grados). El Norte, en nuestro caso, es la parte alta de la pantalla.

Longitud del difusor (m): Es la longitud en metros del difusor del emisario submarino. El difusor es la región del conducto dónde se encuentran la boca o bocas de salida.

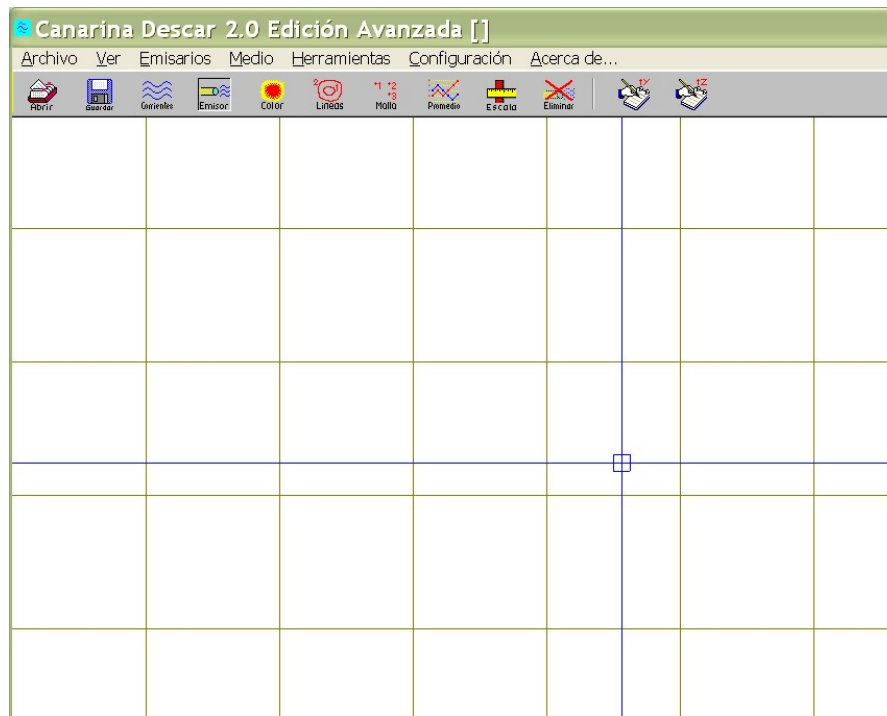
1/T90 (1/segundos), Coeficientes de autodepuración: Este coeficiente tiene en cuenta la vida media del contaminante por si éste desaparece mediante reacciones químicas con el medio. Se expresa en segundos⁻¹. Es el T90 de la E.coli. Para localidades de menos de 10.000 habitantes podremos tomar un T90=2 horas (1/T90=0,5 horas⁻¹) en el Mediterraneo y T90=3 horas (1/T90=0,33 horas⁻¹) en el Atlántico. Para coliformes fecales en aguas con salinidad superior a 30 g/L pueden servir de orientación los valores determinados por la siguiente expresión:

$$T90=[(\alpha/60)(1-0,65C^2)(1-SS/800)+0,0210^{(Ta-20/35)}]^{-1}$$

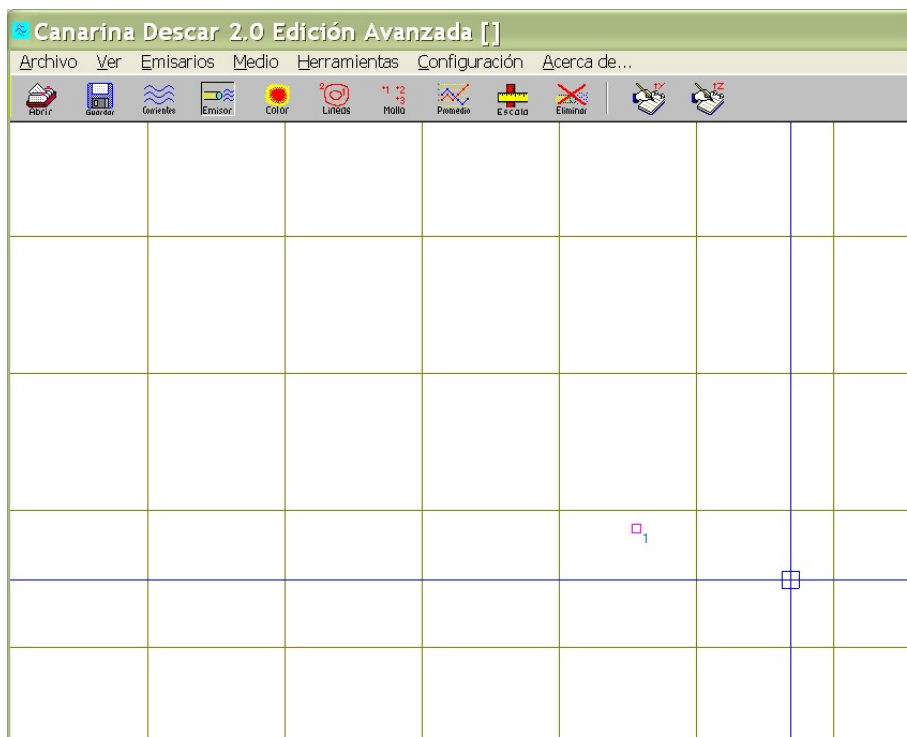
Siendo α el ángulo del sol sobre el horizonte en grados sexagesimales ($\alpha \geq 0$), C la fracción del cielo cubierto de nubes, SS la concentración de sólidos en suspensión en mg/L, con un valor máximo de SS=800, y Ta la temperatura del agua en grados Celsius.

Opción tipo de boca de salida: Hay tres opciones: emisario con boca única, emisario con bocas próximas y emisario con bocas separadas. Se deberá elegir la opción que más se ajusta al emisario que se simula. Se consideran bocas próximas cuando la separación entre las mismas es de menos del 3% de la profundidad en el punto de vertido. Las bocas separadas son difusores cuyas bocas están separadas más de un 20% de la profundidad en el punto del vertido. Para difusores con bocas con separación entre el 3% y el 20% de la profundidad en el punto de vertido no son aplicables los métodos anteriores y deberán buscarse otros modelos.

Al hacer **click** sobre la opción aceptar aparece la siguiente pantalla en el programa:



Aparece señalada con dos ejes de color azul el lugar donde podrá ser situado el emisario si lo deseamos. Al mover el ratón sobre la pantalla de dibujo observaremos que los ejes de color azul, que nos muestran la posición elegida, se desplazan con el mismo. En las casillas de la parte de abajo, en la izquierda, aparecen la posición en X y en Y del punto que, en un momento dado, estamos señalando con el ratón. Si, ahora, hacemos **click** con el ratón sobre el punto señalado en la pantalla situaremos en dicho punto una fuente emisora con las características que mostraba la ventana de propiedades del emisario. Esto último quedará de la siguiente manera:



Aparece señalado con un cuadrado de color rosa el punto donde está situado el emisario.

Si deseamos situar otra fuente puntual, bastará con volver a hacer **click** con el ratón sobre el nuevo lugar escogido. Podremos añadir tantos emisarios como deseemos.

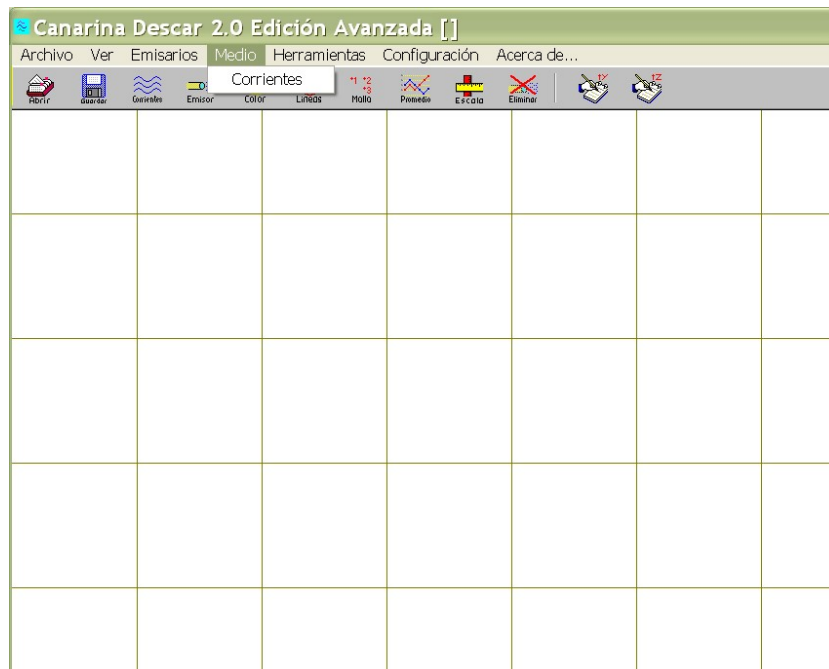
Tenemos que darnos cuenta que al haber activado la función **Emisario puntual** el icono de la barra de herramientas Fuente aparece pulsado. Para salir de dicha función podremos pulsar, de nuevo, dicho icono y, de esta manera, podremos activar cualquier otro comando que deseemos.

Si, después de haber introducido un emisario, deseáramos modificar alguna de las propiedades que hemos asignado al punto emisor, deberemos de hacer uso de la función **Eliminar** para borrar dicha Fuente y, posteriormente, situar otra nueva fuente con las nuevas propiedades cambiadas en dicho punto o bien hacer 'click' con la flecha del ratón sobre la posición del emisario sin tener ninguna función de CASTOR-WATER activada. En este caso, **la ventana de propiedades de la fuente**

volverá a aparecer en pantalla pudiendo modificar los parámetros deseados. Si, después de haber introducido un emisario, introducimos otra nueva fuente, con diferentes propiedades, encima de la anterior quedará eliminado el emisario introducido inicialmente. El programa solo admite una fuente en cada punto de la malla donde se realiza la simulación.

7.1.4 Medio

El menú Medio nos muestra los comandos que tratarán sobre las diferentes propiedades del medio físico donde realizaremos la simulación (Corrientes). Al hacer click con el ratón sobre dicho menú se despliega la siguiente opción:



Corrientes..- Se refiere a las propiedades del agua cuando realizamos la simulación (dirección y densidad de la misma, velocidad de la corriente, Coeficiente de estratificación y Modelo estratificado). Si hacemos click sobre dicha opción obtendremos la siguiente ventana donde se indican las propiedades del agua:

Propiedades de

Densidad del agua
(kg/m³)

Velocidad de la corriente
(m/s)

Dirección de la corriente
(de 0 a 360 grados)

Coeficiente de
estratificación (1/s²)

Modelo estratificado

Medio estratificado

Nos encontramos con cuatro casillas diferentes referidas a propiedades del agua y un cuadro de opciones. Dichas propiedades y opciones las podremos cambiar según el proceso de contaminación que deseemos simular. En el caso de las casillas, bastará con hacer **click** con el ratón sobre cada una de las tres casillas que aparecen. A continuación aparecerá el cursor parpadeando y podremos usar las teclas de **borrar** y el teclado para introducir los valores deseados. Cuando tengamos los valores escritos en las casillas y las opciones elegidas, haremos **click** con el ratón sobre la tecla **Aceptar** y quedarán introducidos los nuevos valores y desaparecerá la ventana anterior. Si pulsamos el botón **Cancelar** desaparece la ventana sin introducir los cambios realizados. Las casillas se activarán según el modelo que tengamos activado: Modelo de penacho con curvatura o Modelo estratificado (Ver Modelos del Cálculo).

Modelo de penacho con curvatura:

Las magnitudes a introducir en las propiedades de la fuente puntual para el Modelo de penacho con curvatura son:

Densidad del agua (kg/m³): Es la densidad del agua del medio que estudiamos (agua marina o agua dulce). Se expresa en kilos por metro cúbico (kg/m³). Suelen tener un valor muy parecido a la del agua pura 1.000 kg/m³.

Velocidad de la corriente.- En esta casilla deberemos introducir la velocidad de la corriente. Las unidades se deben introducir en metros por segundo (m/s). El programa necesita de una velocidad mínima no inferior a 0,0001 metros por segundo. Si introducimos una velocidad inferior a dicho valor, el programa tomará automáticamente una velocidad de 0,0001 m/s. Una velocidad de corriente típica puede ser de unos 0,015 m/s.

Dirección de la corriente.- Nos indica la dirección hacia la que se dirige el agua. El programa toma un rango de direcciones que van desde 0⁰ a 360⁰. El cero corresponde con una corriente que se dirige hacia el Norte (y el 360⁰). Agua proveniente del Norte y que se dirige hacia Sur tendría una dirección de 180⁰. Para un emisario que emite cerca de la costa la dirección de la corriente suele ser paralela a la misma. El sentido será hacia un lado y hacia otro alternativamente según la marea. Se puede hacer un promedio temporal con el programa para simular los efectos de la marea. Las mareas tienen un periodo de unas 12 horas con lo que si a las 0 horas tenemos una corriente de velocidad máxima hacia la derecha, tendremos una corriente de igual velocidad máxima hacia la izquierda a las 6 horas con una pérdida gradual de velocidad entre estos dos instantes. A las 12 horas volveremos a tener las mismas condiciones iniciales.

Modelo estratificado:

Las magnitudes a introducir en las propiedades de la fuente puntual para el Modelo estratificado son:

Coeficiente de estratificación (s⁻²): Viene en segundos a la menos dos representado por Γ . Nos indica el grado de estratificación que posee el mar en un momento determinado.

$$\Gamma = - (g/\rho_a) (d\rho_a/dh)$$

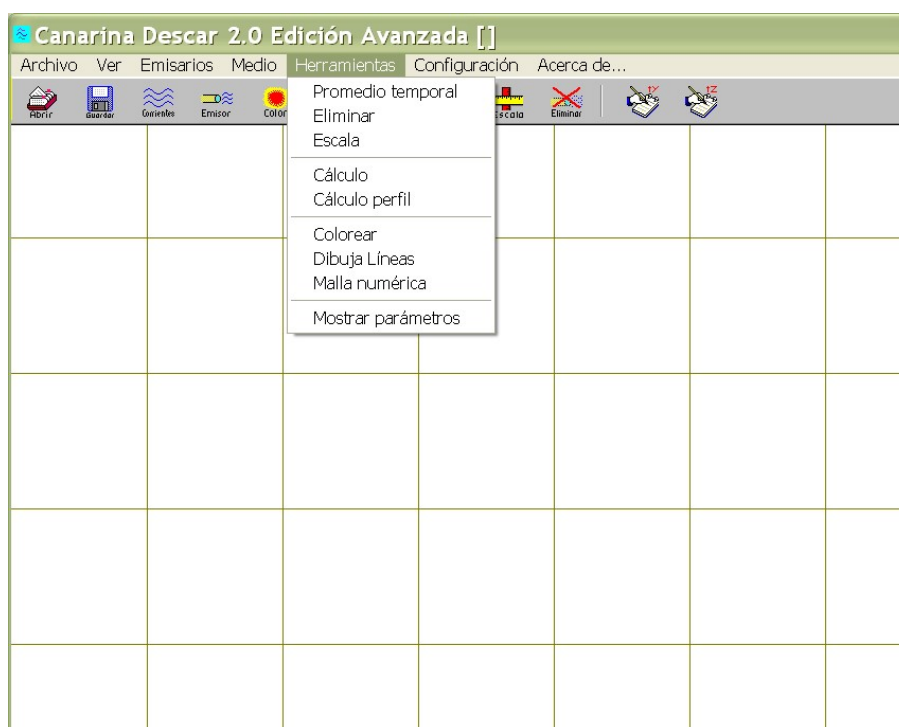
Siendo g la gravedad terrestre $g=9,81\text{m/s}^2$, ρ_a la densidad del agua de mar y h la profundidad. Un valor típico puede ser de $0,00005\text{ s}^{-2}$ (la densidad del agua de mar aumenta 5 kilos cada 1000 metros de profundidad).

Opción Modelo estratificado: Hay dos opciones: Medio estratificado y Medio sin estratificar. En el caso que usemos un modelo estratificado (Ver Modelos del Cálculo) podremos decidir si el medio está estratificado o no en la simulación. La estratificación suele aparecer en verano o en las cercanías de desembocaduras de ríos.

7.1.5 Herramientas

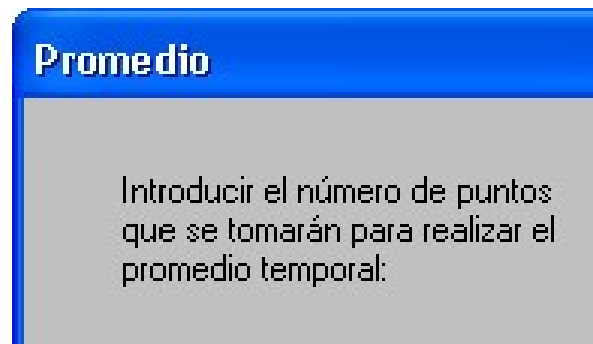
El menú herramientas incluye todo lo relacionado con los ficheros de las simulaciones. Estos ficheros pueden estar referidos a situaciones que queremos simular, o bien, que ya hemos simulado y guardado los resultados. El menú herramientas contiene los siguientes comandos **Promedio temporal**, **Eliminar**, **Escala**, **Cálculo**, **Cálculo perfil** y también nos muestra los comandos para tratar el dibujo resultante del proceso de simulación numérica (**Colorear**, **Dibuja líneas**, **Malla numérica**) y para visualizar los parámetros del cálculo (**Mostrar Parámetros**)..

Al hacer **click** con el ratón sobre dicho menú se despliegan las siguientes opciones:



Promedio temporal.- La función promedio nos permitirá promediar las corrientes en la simulación numérica. Con el paso del tiempo, pueden variar muchos factores de interés para la simulación como son la cantidad de contaminante que emite la fuente, la dirección del agua, la velocidad del agua,... Por todo esto, el programa permite realizar promedios temporales a la hora de hacer el cálculo. Por ejemplo, esta función puede ser de mucho interés para evaluar los efectos a lo largo de meses de un emisario submarino y que no contamina por la noche. Introduciremos los datos de las corrientes y los promediaremos a lo largo de meses teniendo en cuenta las condiciones del medio y que por las noches no hay emisión.

Si hacemos **click** sobre dicha opción, aparecerá la siguiente ventana:



donde el cursor aparecerá parpadeando en la casilla que refleja **el número de puntos temporales que queremos tomar**. El programa toma por defecto un único punto temporal pero para poder promediar de una manera aceptable deberemos de tomar más de un punto temporal.

Los puntos temporales son elementos de un promedio y, nosotros, podremos asociarle el valor temporal que deseemos. Es decir, si tenemos datos de corrientes para cada hora de un día (un total de 24) y deseamos hacer un promedio de la contaminación en un día, podremos hacer un promedio temporal con 24 puntos temporales para calcular el promedio diario.

Cada punto temporal que promediamos representa los valores en una hora de tiempo. Si tuviéramos valores medios mensuales y quisiéramos hacer un promedio anual podríamos promediar con 12

puntos temporales (los doce meses). Tenemos que tener en cuenta que si deseáramos hacer un promedio anual con una resolución temporal de un día, deberíamos tomar 365 puntos temporales lo cual da mucha más fiabilidad al promedio pero también dificulta los cálculos. Mayor resolución en el promedio implica mayor tiempo de computación.

Una vez tengamos introducida la cantidad de puntos temporales deseada, pulsaremos el botón **Aceptar**. Pulsando **Cancelar** eliminaremos la función. Una vez pulsado el botón de aceptar, aparecerá una pantalla como sigue:

The screenshot shows a software window titled "Promedio: Datos de los puntos" with a grey background and a green header. It contains several input fields and labels:

Label	Value	Unit/Description
Número de la fuente:	1	Número de punto temporal
Corriente:		Emisario
Velocidad de la corriente (m/s)	0,005	Velocidad de contaminación
Dirección de la corriente (de 0 a 360 grados)	90	Concentración de contaminación
		Caudal de

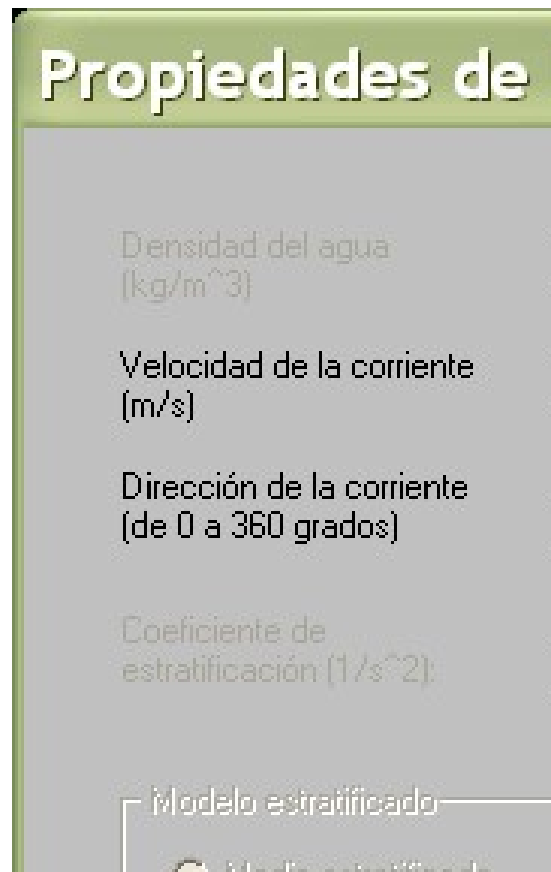
La ventana que aparece es la ventana de promedio y nos puede servir para visualizar las cantidades con las que estamos trabajando en el promedio y para modificarlas o introducir otras nuevas. Los datos que aparecen en el promedio se reflejan en la ventana anterior. Dichos datos se engloban en dos grupos: en el de las Corrientes y en los del Emisario. Los de las corrientes son: dirección de la corriente y velocidad. Los referidos al Emisario son la velocidad de salida del contaminante, la concentración de contaminante en el punto de salida y el caudal.

En el promedio, se han seleccionado los puntos que son de interés para promediar. Por ejemplo, el caudal de salida del contaminante que puede variar a lo largo de un día en un emisario que emite a determinadas horas. Por otra parte, la altura del emisario submarino no es un parámetro de interés para promediar ya que no esperaremos que se modifique a lo largo del tiempo.

En la parte superior derecha de la ventana aparece el número de puntos temporales que estamos considerando en el promedio y el número de la fuente que estamos considerando. Hay tantos puntos temporales como hayamos introducido en la ventana donde nos pedían el número de puntos temporales y tantas fuentes como fuentes introducidas.

Las cantidades que aparecen para los Emisarios y para las Corrientes en la ventana anterior se refieren al punto temporal número uno, tal y como aparece en la casilla y a la fuente número uno. Si hacemos click sobre la pequeña flecha que aparece al lado podremos seleccionar los diferentes puntos temporales y fuentes y visualizar dichos valores. Moviendo la flecha del ratón hacia abajo podremos seleccionar el punto deseado. Al iniciar un promedio el programa asigna a todos los puntos temporales las mismas cantidades que coinciden con los valores que previamente teníamos introducidos en las funciones de Corrientes y Emisario sin promediar. Una vez introducido el promedio, el programa almacena el número de puntos y sus valores. Para modificar los valores, por ejemplo, del punto 2 deberemos de seleccionarlo en el **Número de orden del punto temporal**, tal y como describimos en el párrafo anterior, es decir, usaremos los botones Corrientes y Emisor que aparecen en la parte inferior de la ventana para modificar dichos valores. El botón Corrientes se refiere a las propiedades de

el agua cuando realizamos la simulación (velocidad de la corriente, dirección,...). Si hacemos **click** sobre dicho botón obtendremos la siguiente ventana:



donde se indican las propiedades de el agua. Esta ventana es idéntica a la ventana de las propiedades de el agua cuando no hacíamos uso del promedio temporal. Nos encontramos con varias casillas diferentes referidas a propiedades. Dichas propiedades las podremos cambiar según el proceso de contaminación que deseemos simular exceptuando la densidad del agua y el coeficiente de estratificación que no tiene interés el promediarlo temporalmente.

El programa toma una única densidad de agua en el cálculo para todos los puntos por lo que si introducimos modificaciones el programa tomará como densidad del agua el último valor introducido. Podemos ver dicho valor en la función **Corrientes**.

El botón **Emisario** se refiere a las propiedades de ésta cuando realizamos la simulación (velocidad de salida,...). Si hacemos **click** sobre dicho botón obtendremos la siguiente ventana:

Propiedades del emisario subm

Velocidad de salida del contaminante (m/s):

Concentración de contaminante (g/m³):

Tipo de descarga

Descarga vertical hacia arriba

Descarga horizontal tipo A

Descarga horizontal tipo B

Altura del emisario debajo de la superficie del agua (m):

Caudal de salida de contaminante (m³/s):

Densidad del líquido contaminante emitido (kg/m³):

Ángulo del emisario (de 0 a 360):

Longitud del difusor:

donde se indican las propiedades del emisor. Dichas propiedades las podremos cambiar según el proceso de contaminación que deseemos simular. Bastará con hacer **click** con el ratón sobre cada una de las casillas que aparecen. A continuación aparecerá el cursor parpadeando y podremos usar las teclas de **borrar** y el teclado para introducir los valores deseados. Cuando tengamos los valores escritos en las casillas, haremos **click** con el ratón sobre la tecla **Aceptar** y quedarán introducidos los nuevos valores y desaparecerá la

ventana anterior. Si pulsamos el botón **Cancelar** desaparece la ventana sin introducir los cambios realizados. Antes de ejecutar el cálculo es conveniente comprobar los datos que tenemos en el promedio.

Esta ventana es idéntica a la ventana de las propiedades de la fuente cuando no hacíamos uso del promedio temporal con la diferencia que se activan las cantidades que pueden promediar en el tiempo. Nos encontramos con varias casillas diferentes referidas a propiedades del emisor contaminante.

Dichas propiedades y opciones las podremos cambiar según el proceso de contaminación que deseemos simular exceptuando las que no tienen interés para promediar temporalmente.

El programa toma una única altura, una única densidad de líquido contaminante para todos los puntos por lo que si introducimos modificaciones el programa tomará como altura, y como densidad el último valor introducido.

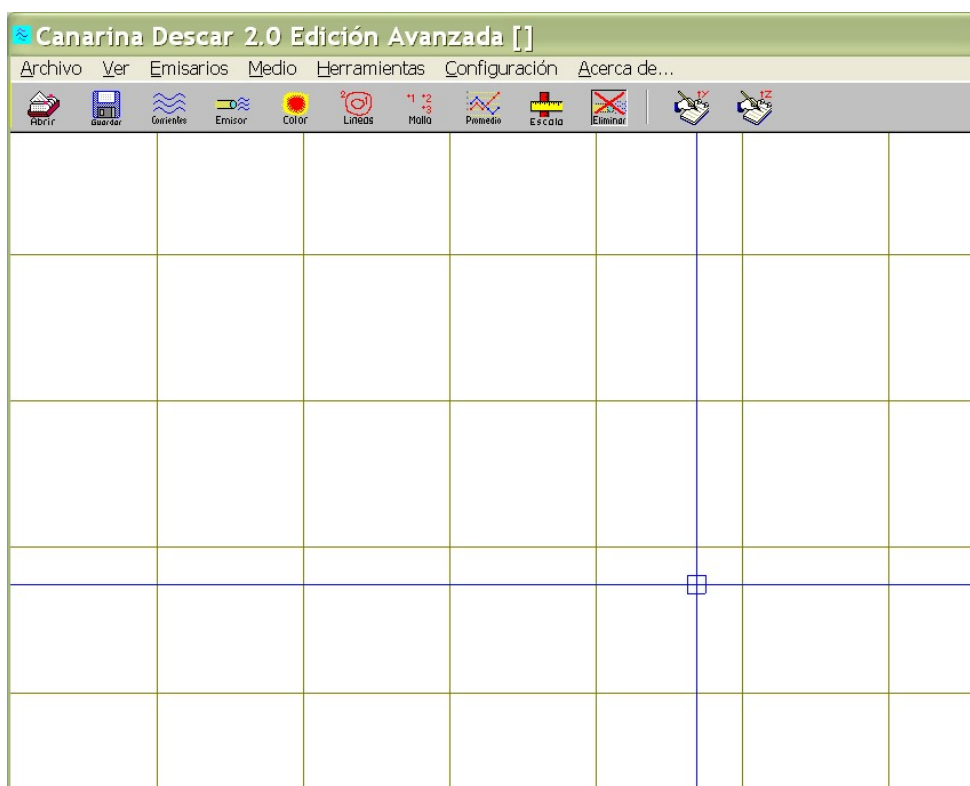
Por último diremos que si tenemos un promedio introducido en el programa y deseamos eliminarlo, lo podremos hacer de la siguiente manera. Editaremos de nuevo la función promedio y colocaremos en la casilla de Número de puntos temporales un valor igual a 1. De esta manera desaparece el promedio.

Una vez introducido un promedio con más de un punto temporal, al variar el número de puntos temporales aumentando el anterior puede producir un error ya que hay variables que pueden hacerse cero. Lo ideal es definir bien, y desde el principio, el número de puntos temporales antes de introducir los valores a promediar. Se puede reducir el número de puntos sin problema pero hay que comprobar de nuevo todos los valores asignados por si hay fallos en la memoria dinámica. Pero si los aumentamos todos los valores de los puntos nuevos se hacen cero y deberemos corregirlos uno a uno. Si deseamos modificar un promedio introducido puede ser más cómodo eliminar el promedio y luego definir uno nuevo.

Un promedio puede ser costoso desde el punto de vista del tiempo de cálculo. Para un Pentium de 120 MHz puede llegar a tardar muchas horas en realizar dicho cálculo.

Eliminar.- La función eliminar se usa para eliminar puntos de la malla, que actúan como emisores de contaminantes, que no los deseamos incorporar al cálculo. No necesitaremos de la función **Nuevo** para borrar todo, perdiendo los datos de topografía, ya que la función **Eliminar** nos quitará la parte no deseada.

Si hacemos **click** sobre dicha opción, aparecerá la siguiente ventana:



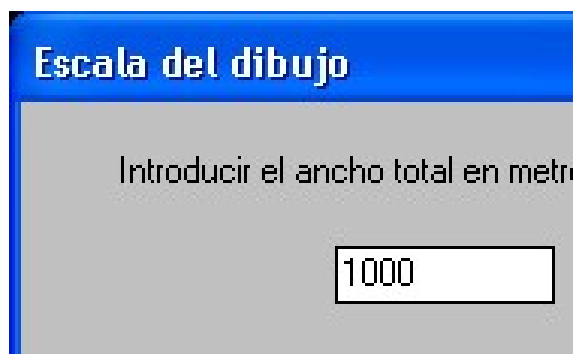
Moviendo el cursor sobre la pantalla buscaremos donde hay definidos puntos emisores. Haciendo **click** sobre dichos puntos conseguiremos que éstos queden eliminados de la pantalla y del cálculo.

Escala.- La función escala nos sirve para definir el rango de trabajo en el proceso de simulación. Es una herramienta importante ya que dependiendo de su buen uso podremos

interpretar y extraer información interesante de la simulación numérica. La escala se define según el ancho en metros que deseemos asignar al eje X de nuestra pantalla de trabajo. La manera de saber que nos encontramos en la escala correcta de trabajo es mediante el método de prueba y error. Es decir, probamos una escala de trabajo con un número determinado. Una vez tengamos el resultado, con la posición del máximo, las líneas de concentración constante, ... veremos si nos encontrábamos en la escala correcta o no.

Si el máximo de concentración de interés queda fuera del dibujo o cualquier otro efecto que nos interese, cambiaremos de nuevo la escala hasta que estemos en un rango que nos interese.

Si hacemos **click** sobre dicha opción, aparecerá la siguiente ventana:

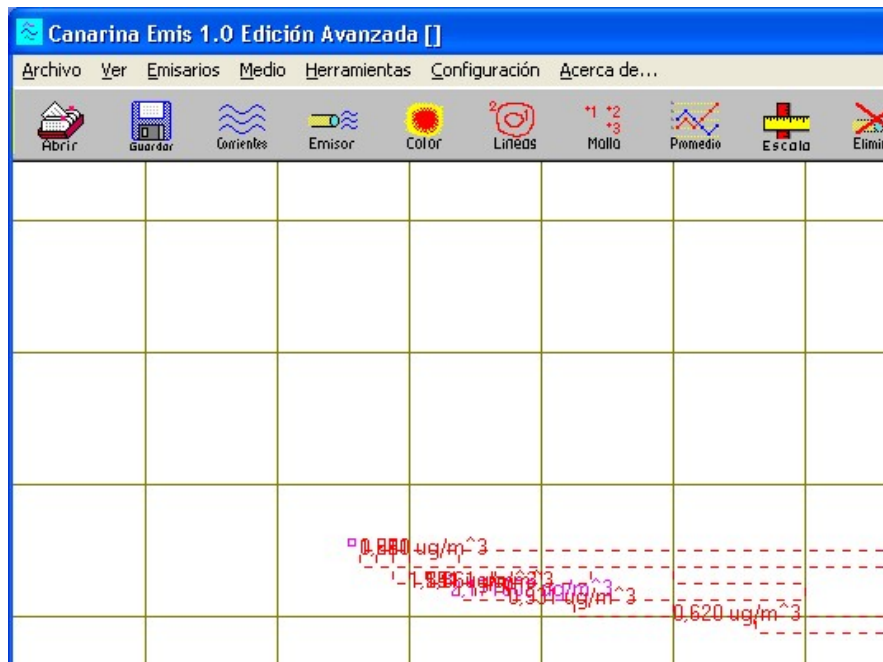


En dicha ventana podremos elegir el número de metros que queremos tener en el eje X. Cuando tengamos el valor escrito en la casilla, haremos **click** con el ratón sobre la tecla **Aceptar** y quedarán introducidos los nuevos valores y desaparecerá la ventana anterior. Si pulsamos el botón **Cancelar** desaparece la ventana sin introducir los cambios realizados. Este comando deberemos ejecutarlo antes de utilizar la función cálculo ya que este parámetro debe de estar perfectamente definido antes de ejecutar la simulación.

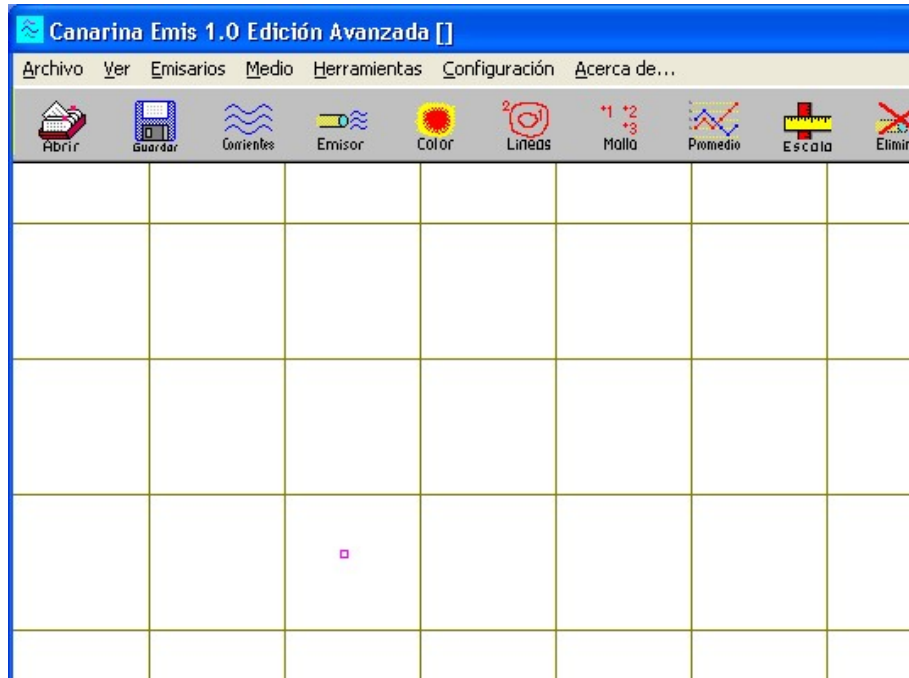
Cuando ejecutemos dicho comando el programa inicia todo, y borra todo lo escrito anteriormente, por lo que si no queremos perder la información obtenida hasta el momento deberemos de usar la función **Guardar** antes de ejecutar dicho comando.

El comando **Escala** es una función auxiliar en la representación del dibujo. Su función consiste en definir, antes de realizar el cálculo, el número de metros en el eje X que queremos tener en el dibujo. En determinados casos puede ser interesante tener un número elevado de metros para una mejor visualización. En otros casos, esto puede ser engorroso ya que dependiendo del tamaño de malla se pueden confundir unas con otras. El tamaño de malla dependerá, a su vez, de la precisión con la que queramos tener el cálculo. Este fichero deberemos ejecutarlo antes de utilizar la función cálculo ya que estos parámetros deben de estar perfectamente definidos antes de ejecutar la simulación.

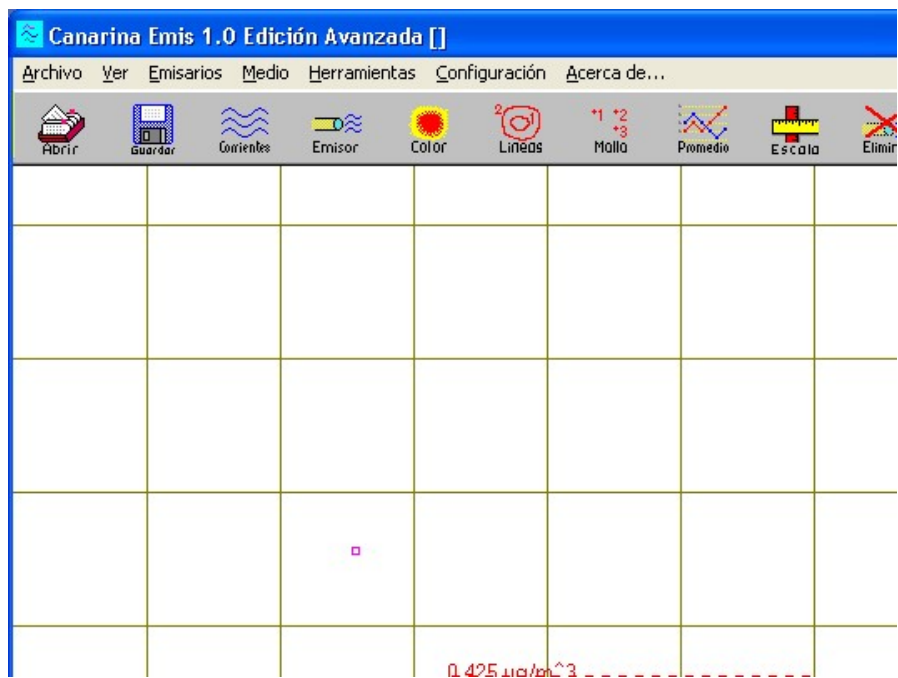
A la hora de ilustrar el uso de este comando representaremos el mismo caso variando la escala del dibujo. Usaremos tres escalas diferentes. Aquí el eje X mide 10.000 m.



Aquí el eje X mide 500 m.



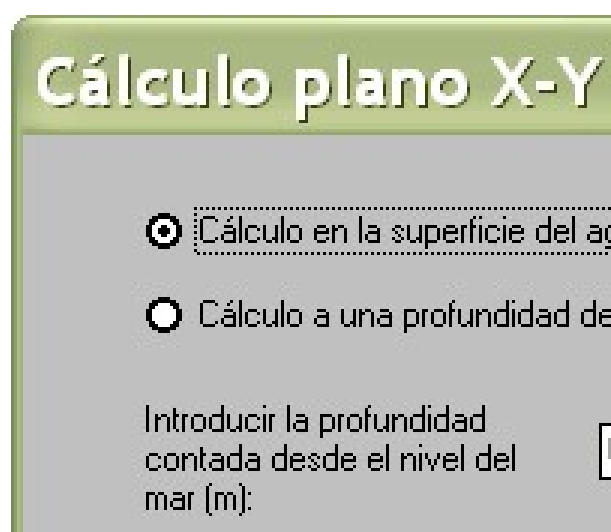
Aquí el eje X mide 1.000 m:



Como podemos ver, cuando el eje X mide 1000 m es cuando tenemos una representación más clara de lo que sucede y donde se muestra claramente el valor del punto máximo y la forma de las líneas de concentración.

Cálculo y Cálculo perfil..- La función cálculo es la que activa los algoritmos necesarios para realizar la simulación numérica. La función cálculo debe de aplicarse después de haber introducido los ingredientes necesarios para la simulación, es decir, los emisarios, las corrientes y las especificaciones numéricas del cálculo como son la escala y el número de puntos N. Este comando usará toda esta información para obtener las concentraciones de contaminante en cada punto de la malla que anteriormente hemos definido. Si cambiamos cualquiera de dichos ingredientes como la posición de la fuente, velocidad de la corriente, ...deberemos de volver a aplicar la función cálculo para poder volver a obtener un nuevo resultado que tenga en cuenta las nuevas condiciones iniciales. Podremos elegir entre Cálculo y Cálculo perfil para obtener planos horizontales y perpendiculares a la superficie del agua de contaminación.

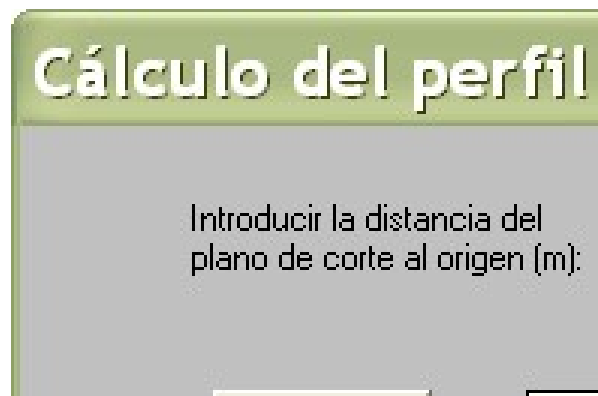
Si hacemos **click** sobre la opción Cálculo, aparecerá la siguiente ventana:



En dicha ventana podremos elegir si queremos realizar el cálculo en la superficie del agua o bien a una altura determinada bajo la misma (dos opciones). En la primera opción, el cálculo de las concentraciones de contaminante se realizará en la superficie del agua. Si elegimos la opción para el cálculo a una altura determinada, deberemos introducir en la casilla correspondiente el plano en el que obtendremos los resultados desde el nivel 0 de altura (nivel del mar).

Cuando tengamos el valor escrito en la casilla y la opción elegida, haremos **click** con el ratón sobre la tecla **Aceptar** y quedarán introducidos los nuevos valores y desaparecerá la ventana anterior. Si pulsamos el botón **Cancelar** desaparece la ventana sin introducir los cambios realizados.

Y al hacer 'click' sobre Cálculo perfil aparecerá la ventana siguiente:

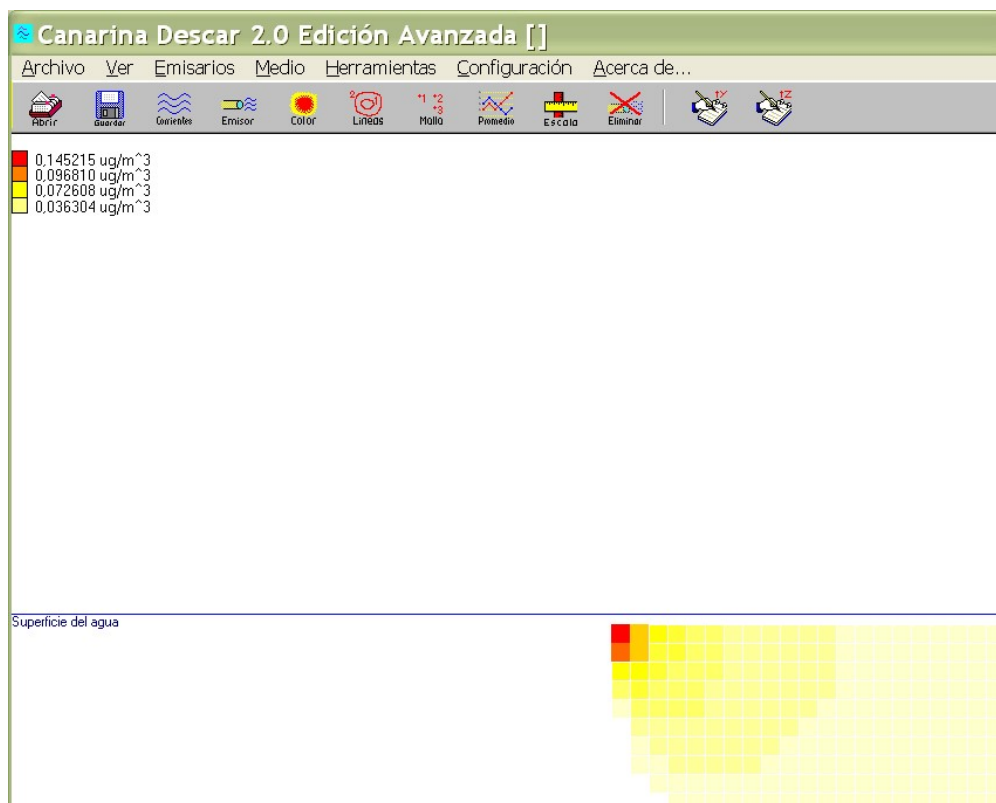


En dicha ventana podremos elegir la distancia al origen (punto inferior izquierdo de la pantalla) del plano de corte perpendicular a la superficie del agua sobre el que se realizará el cálculo. Cuando tengamos el valor escrito en la casilla, haremos **click** con el ratón sobre la tecla **Aceptar** y quedarán introducidos los nuevos valores y desaparecerá la ventana anterior. Si pulsamos el botón **Cancelar** desaparece la ventana sin introducir los cambios realizados.

Al pulsar **Aceptar** tanto en el caso Cálculo como en Cálculo perfil aparecerá una ventana, con mensajes numéricos dinámicos, que nos indicará el punto que se está actualmente

evaluando del total de puntos de la malla y, si hay un promedio temporal, también nos indicará el paso por el que vamos del total.

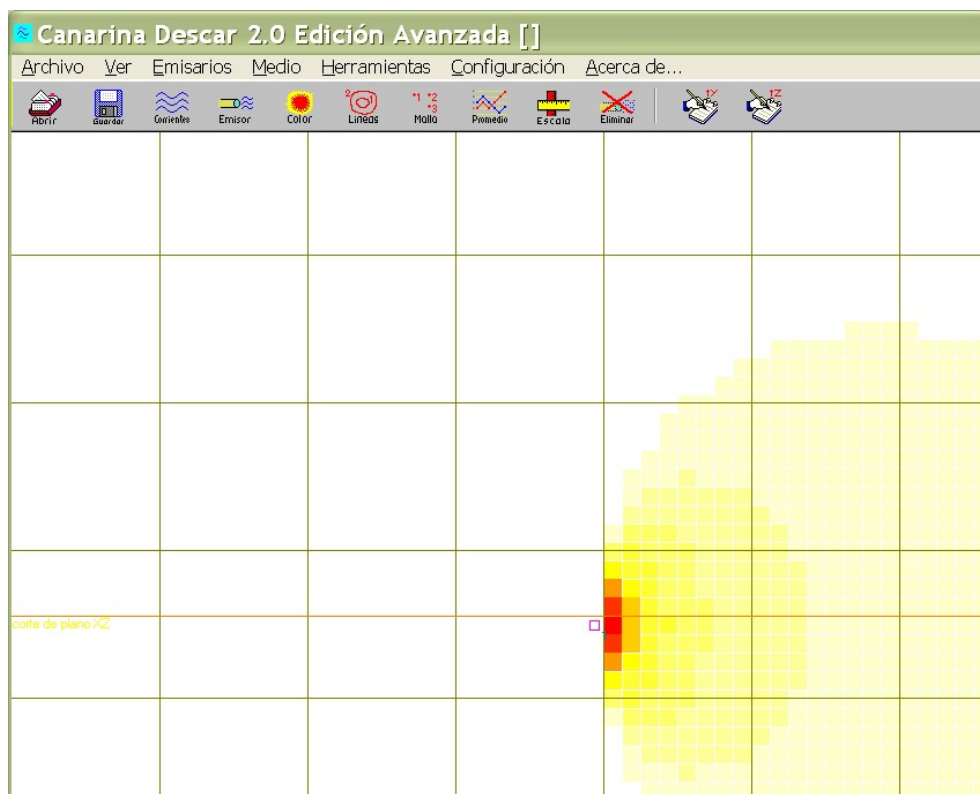
El programa funciona de la siguiente manera: mientras se calcula, la máquina centraliza toda su capacidad en el cálculo restando control al resto de las operaciones en Windows. Si deseamos parar un cálculo tedioso, podremos hacerlo haciendo uso de las teclas **CTRL+ALT+DEL. A continuación nos saldrá una ventana de Windows preguntándonos si cerramos el programa o no. Tenemos que tener en cuenta que si cerramos el programa de esta manera toda la información que no haya sido guardada antes de comenzar el cálculo se pierde.**



Colorear..- La función colorear es para realizar mapas de los resultados haciendo uso de colores. Es especialmente útil cuando la variación de la concentración de contaminantes es muy fuerte en una distancia muy corta.

Por ejemplo, cuando cambia varios órdenes de magnitud en unos pocos elementos de malla en la simulación. En este caso, el uso de líneas de concentración constante lo que produce es que se superpongan en el mismo lugar de la pantalla produciendo la difícil lectura e interpretación de los resultados.

Una vez obtenida la simulación haremos uso de la función para pasar de lectura mediante líneas topográficas a lectura del mapa mediante coloreado. Si ahora hacemos uso de la función colorear para un plano XZ y para otro XY:



Podemos observar que las líneas han desaparecido y que aparece un gradiente de colores. En la parte inferior izquierda de la pantalla, encima de la casilla donde aparece

el valor del cursor X, se muestra la leyenda con las diferentes concentraciones de una manera aproximada. El programa toma el valor máximo de la concentración y le asigna el color rojo. A partir de ahí, y de una forma lineal, el programa va asignando una escala de colores proporcional de una manera cualitativa (los valores exactos los conoceremos situado el cursor del ratón sobre el punto de interés y observando la casilla inferior derecha del programa).













Dibuja líneas.- Esta función es de efecto contrario a la anterior. Una vez tengamos el mapa de colores, aplicaremos la función **Dibuja líneas** para volver a obtener las líneas de concentración constante. De esta manera podremos cambiar fácilmente de representación haciendo uso de estos dos últimos comandos.

Malla numérica.- Esta función nos permite otra representación alternativa de las concentraciones calculadas. Establece una malla numérica equiespaciada a lo largo de la pantalla de cálculo. Es especialmente útil si trabajamos con planos topográficos de fondo introducidos con archivos ya que las otras representaciones de los resultados pueden ser engorrosas debido a la gran cantidad de elementos que aparecen en pantalla.

También pueden tener especial interés en el caso de concentraciones producidas por líneas emisoras ya que se suele producir un gradiente de concentraciones enorme entre el borde de la línea y el resto de la pantalla en cuyo caso las líneas de concentración constante se superponen dando lugar a una imagen poco clara.

Canarina Descar 2.0 Edición Avanzada []

Archivo Ver Emisarios Medio Herramientas Configuración Acerca de...

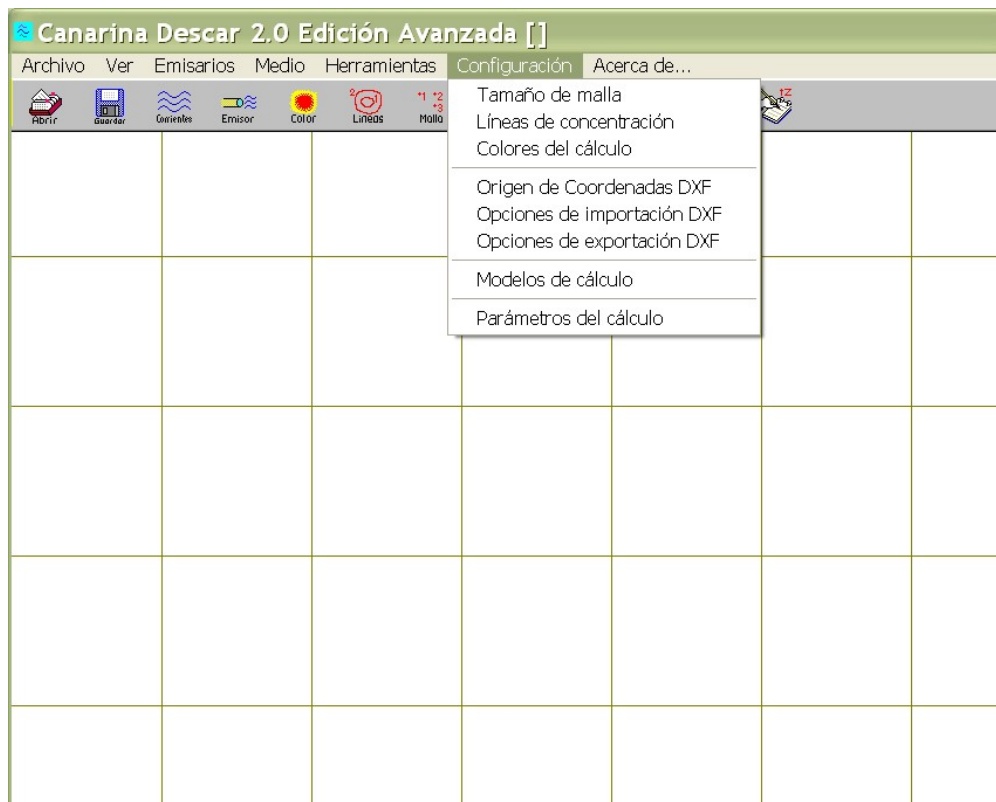
0,000000 g/m ³	0,000000 g/m ³	0,000000 g/m ³	0,000009 g/m ³	0,013129 g/m ³	
0,000000 g/m ³	0,000000 g/m ³	0,000000 g/m ³	0,024371 g/m ³	0,025551 g/m ³	
corte de plano XZ			0,155918 ug/m ³		
0,000000 g/m ³	0,000000 g/m ³	0,000000 g/m ³	0,062567 g/m ³	0,027676 g/m ³	

Mostrar parámetros.- Esta función nos va a indicar los parámetros que tenemos asignados antes de realizar el cálculo. Es conveniente su uso para verificar que hemos introducido correctamente los parámetros. Una vez finalizado el cálculo nos muestra, además, el valor de la concentración máxima y su posición. Si tenemos cálculos guardados en forma de ficheros ***.ems** deberemos de ejecutar nuevamente el cálculo para obtener los datos correctamente.

7.1.6 Configuración

El menú configuración incluye todo lo relacionado con la configuración numérica de las simulaciones. Estos ficheros deberemos ejecutarlos antes de utilizar la función cálculo ya que estos parámetros deben de estar perfectamente definidos antes de ejecutar la simulación. El menú configuración contiene los siguientes comandos **Tamaño de malla, Tipo de letra, Líneas de concentración constante y Colores, Parámetros y Modelos de cálculo.**

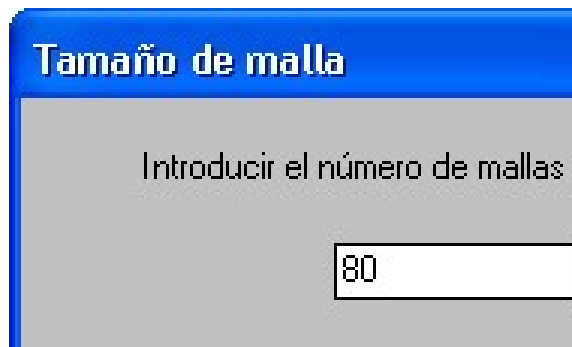
Al hacer **click** con el ratón sobre dicho menú se despliegan las siguientes opciones:



Tamaño de malla..- El tamaño de malla es un parámetro importante en la configuración del sistema. Nos va a decir el número de puntos que vamos a tomar a la hora de evaluar una simulación numérica determinada. A la hora de definirlo

deberemos de tener en cuenta que a medida que aumentamos el número de puntos, el computador va a tardar mucho más tiempo en realizar el cálculo pero el resultado será mucho más preciso. El número de puntos a evaluar va a aumentar cuadráticamente con el número de puntos elegido N , es decir, aumentará como N^2 . Por ello, deberemos tener en cuenta que si tomamos un tamaño excesivo de puntos, obteniendo una resolución numérica no necesaria, lo que va suceder es que el computador estará ocupado trabajando un tiempo innecesario.

Si hacemos **click** sobre dicha opción, aparecerá la siguiente ventana:



En dicha ventana podremos elegir el número de mallas (puntos de cálculo) que queremos tener en el eje X. Cuando tengamos el valor escrito en la casilla, haremos **click** con el ratón sobre la tecla **Aceptar** y quedará introducido el nuevo valor y desaparecerá la ventana anterior. Si pulsamos el botón **Cancelar** desaparece la ventana sin introducir los cambios realizados. Este comando deberemos ejecutarlo antes de utilizar la función cálculo ya que este parámetro debe de estar perfectamente definido antes de ejecutar la simulación.

Cuando ejecutemos dicho comando el programa inicia todo, y borra todo lo escrito anteriormente, por lo que si queremos no perder la información obtenida hasta el momento deberemos de usar la función **Guardar** antes de ejecutar dicho comando.

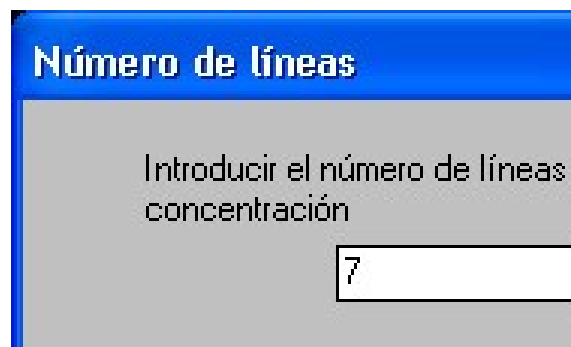
CASTOR-WATER *usa un número de mallas igual a 100 por defecto. Dicho valor hace que el programa funcione con ordenadores de 16 MB*

de memoria RAM. Incrementar el número de mallas produce que el programa funcionando consuma mucha más memoria.

Si tomamos un número de mallas tan alto que supere la memoria disponible del PC, se bloqueará el ordenador y deberá ser reiniciado. Por otra parte, un tamaño de 100 mallas nos dan resolución gráfica suficiente para poder trabajar.

Líneas de concentración.- El comando líneas de concentración es una función auxiliar en la representación del dibujo. Su función consiste en definir, antes de realizar el cálculo, el número de líneas de concentración constante que queremos tener en el dibujo. En determinados casos puede ser interesante tener un número elevado de líneas para una mejor visualización. En otros casos, esto puede ser engorroso ya que dependiendo del tamaño de malla se pueden confundir unas con otras. El tamaño de malla dependerá, a su vez, de la precisión con la que queramos tener el cálculo.

Este fichero deberemos ejecutarlo antes de utilizar la función cálculo ya que este parámetro debe de estar perfectamente definido antes de ejecutar la simulación. Si hacemos click sobre dicha opción, aparecerá la siguiente ventana:



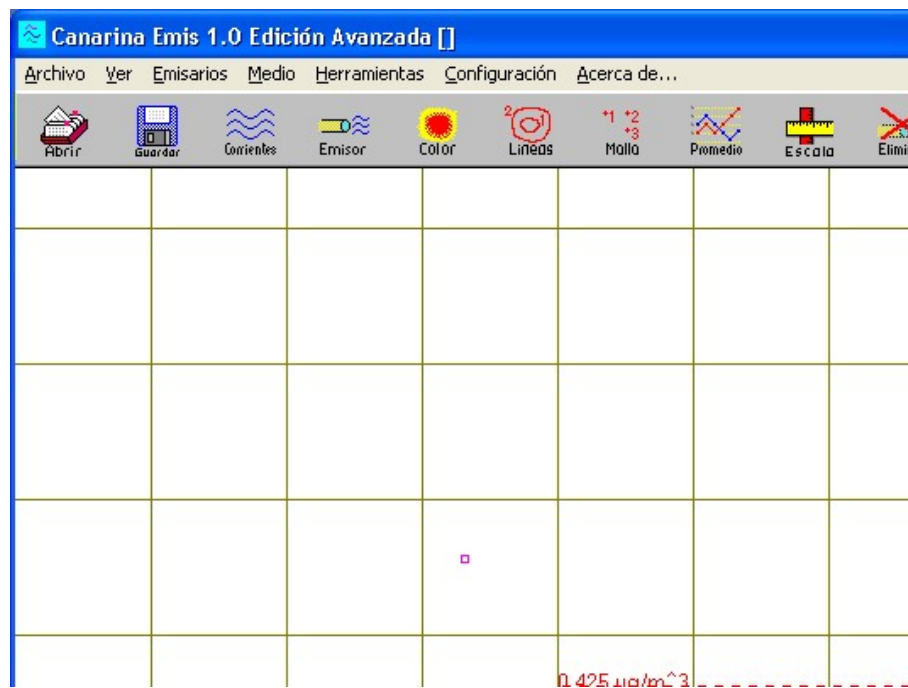
En dicha ventana podremos elegir el número de líneas de concentración que queremos tener en el dibujo. El programa toma el número de líneas incluyendo como línea el punto donde aparece la concentración que aparece en color violeta. Por lo tanto, las líneas reales que aparecerán serán una menos que

las que figuran en la casilla de entrada de datos más el punto de valor máximo.

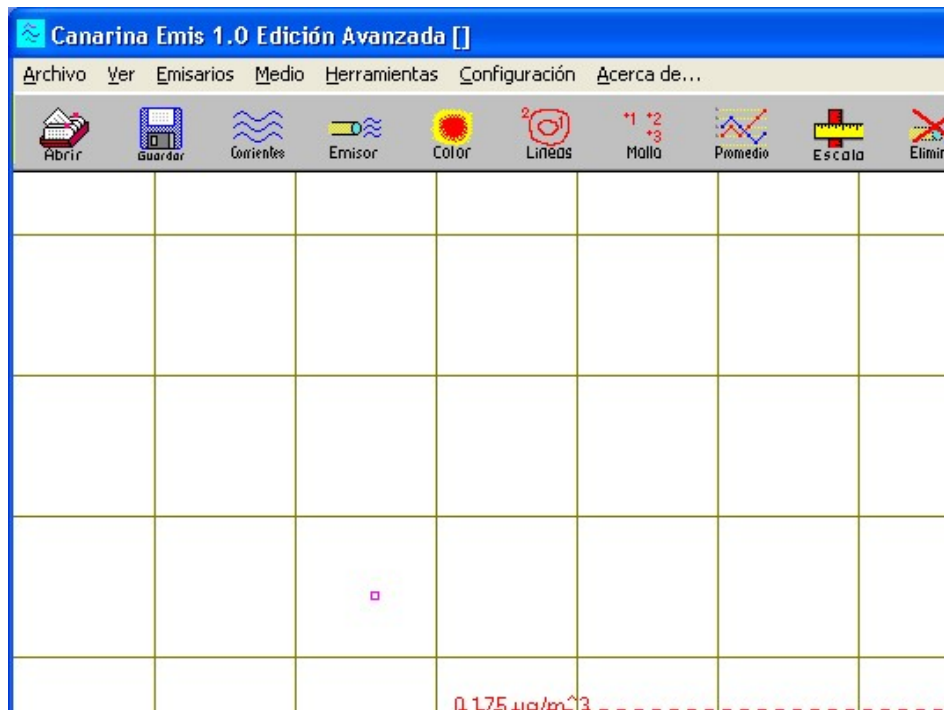
Cuando tengamos el valor escrito en la casilla y la opción elegida, haremos **click** con el ratón sobre la tecla **Aceptar** y quedarán introducidos los nuevos valores y desaparecerá la ventana anterior. Si pulsamos el botón **Cancelar** desaparece la ventana sin introducir los cambios realizados.

A la hora de ilustrar el uso de este comando representaremos el mismo caso variando el número de líneas.

Aquí, caso con 7 líneas:



Aquí, caso con 17 líneas:



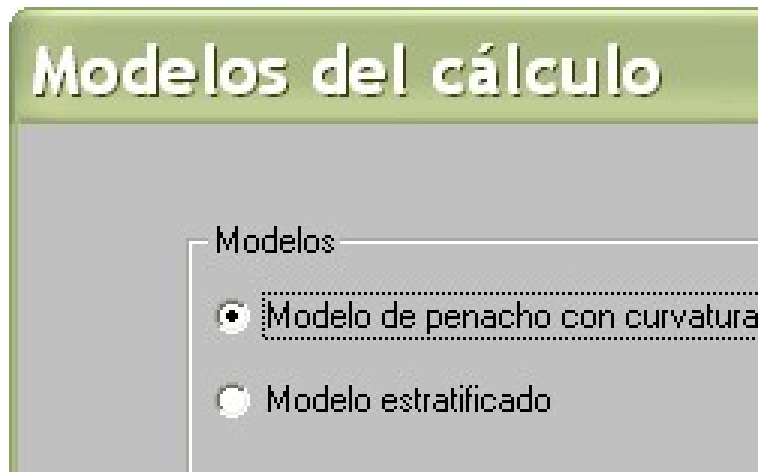
Vemos que la información dibujada en pantalla no es muy buena y que es difícil de leer. El primer caso parece el ideal ya que dibuja bien y la representación no es engorrosa.

Cuando ejecutemos dicho comando el programa inicia todo, y borra todo lo escrito anteriormente, por lo que si queremos no perder la información guardada hasta el momento deberemos de usar la función **Guardar** antes de ejecutar dicho comando.

Colores del Cálculo.- Podremos cambiar los colores de las líneas de concentración constante, del punto máximo y de la fuente.

Tipo de letra.- Podremos cambiar el tamaño de la letra, el número de cifras decimales y si aparece o no el número de la fuente en pantalla.

Modelos del cálculo.- Podremos elegir dos modelos diferentes a la hora de realizar la simulación numérica (Modelo de penacho con curvatura o Modelo estratificado, Véase **Algoritmos usados por el programa**).



Parámetros del cálculo.- Estas opciones tienen que ver con los algoritmos empleados para realizar los cálculos (Véase los algoritmos empleados en el cálculo en el capítulo 7 del Manual) y valor de determinados parámetros matemáticos que podrán ser cambiados si se desea.

Valor	Descripción
0,15	Coeficiente Cb (Ver Manual d
0,5	Coeficiente Cs (Ver Manual d
2	Coeficiente Cxy (Ver Manual c
100	Número N_int de integración (usuario)

7.1.7 SIG

SIG.- En esta sección se encuentra todo lo necesario para trabajar con sistemas de información geográficos.

Coordenadas del origen.- mediante este comando se elige el valor de las coordenadas del origen, que está en la esquina inferior izquierda de la ventana de trabajo. Se puede trabajar en coordenadas geográficas y cartesianas.

Punto de referencia.- Con este comando se decide el valor de las coordenadas de un punto, conocido previamente en el mapa, para tener el sistema referenciado. Se puede trabajar en coordenadas geográficas y cartesianas. Una vez introducidas las coordenadas deseadas hacemos 'click' en el punto de la pantalla donde se situará dicha coordenada. Aparecerá un marcador rojo que indicará el punto de referencia. Después de

usar el comando se podrán exportar los datos referenciados a un sistema del tipo ArcSIG.

Radio de curvatura.- Este comando es para decidir el valor asignado al radio de la Tierra. Dicho valor podrá ser ligeramente modificado para ajustar los datos disponibles con el mapa de trabajo. El programa considera a la Tierra como una esfera perfecta de un radio constante.

Cálculo de la escala.- Este comando es para ajustar la escala de la imagen de fondo importada con la escala de trabajo del programa. Se necesita conocer la distancia entre dos puntos conocidos del mapa. Primero se introduce la distancia conocida entre los dos puntos, y luego se hace 'click' consecutivamente sobre dichos dos puntos del plano y la escala queda automáticamente calculada.

Exportar en coordenadas cartesianas o geográficas.- Con este comando podrá exportar los resultados del programa (isolíneas, fuentes, concentraciones, máximos) en ambos tipos de coordenadas. El fichero que se genera es en formato EXCEL.csv y podrá ser abierto con Windows Notepad, Arcview o Microsoft Excel. Para que los ficheros puedan ser importados en Arcview sin problemas hemos utilizado el sistema inglés para la numeración decimal. Por ejemplo, un euro con treinta céntimos en el formato inglés sería 1.30 (¡NO 1,30!).

Si usted está utilizando el formato español cuando abra el fichero exportado con EXCEL obtendrá "todos los números en la misma casilla". En tal caso, lo mejor es cambiar el formato numérico de su ordenador. Es muy fácil. Solo debe ir a WINDOWS >> INICIO >> PANEL DE CONTROL >> CONFIGURACIÓN REGIONAL y buscar el formato inglés. Una vez cambiado el formato se abrirá el fichero correctamente, con cada número en su correspondiente casilla.

7.1.8 3D

En esta sección se encuentran los comandos necesarios para trabajar en 3D. La representación 3D es una representación cualitativa de la contaminación, NO CUANTITATIVA. Los gráficos 3D ayudan a visualizar el proceso de contaminación. Los puntos que aparecen son introducidos de una manera artificial mediante un sistema aleatorio que puede regularse en las opciones del dibujo. El promedio temporal no funciona en 3D.

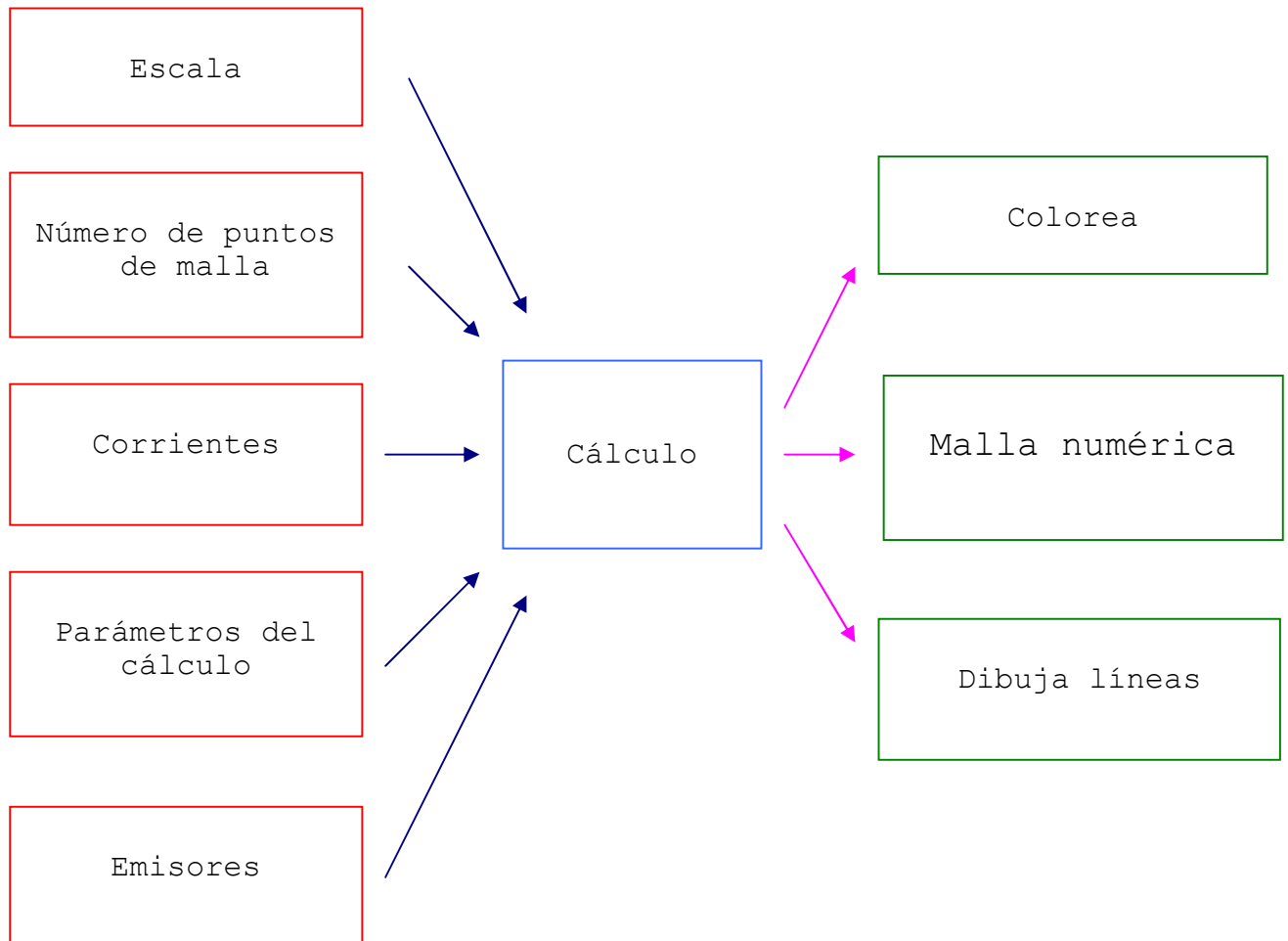
La ventana 3D es una extensión de la ventana XY. Los valores de X e Y y las concentraciones que aparecen a pie de gráfico corresponden a la vista del plano XY. Los valores máximos de las concentraciones que aparecen son orientativos. Si después de hacer un cálculo en 2D, efectuamos un cálculo en 3D, desaparecerán los valores del cálculo 2D anteriores. La función IMPRIME, envía a la impresora la información del plano XY. Para imprimir en 3D, use IMPRIME IMAGEN DE FONDO o guarde la imagen en un fichero BMP y luego edítelo con otro programa de imagen Windows e imprima.

7.2 La barra de herramientas de CASTOR-WATER

Debajo de los menús está la barra de herramientas y nos encontramos con las funciones más habituales de CASTOR-WATER que vienen en forma de iconos para su fácil utilización. En la barra de herramientas nos encontramos con los iconos de las funciones de **Abrir**, **Guardar**, **Corrientes**, **Fuente**,... que serán habitualmente utilizadas por el usuario.

8. Estructura del programa

La estructura general de funcionamiento del programa CASTOR-WATER es la siguiente. Tal y como muestra la figura, la función **cálculo** deberá de aplicarse después de haber introducido los ingredientes necesarios para la simulación, es decir, las fuentes, las corrientes y las especificaciones numéricas del cálculo como son la escala y el número de puntos N. Este comando usará toda esta información para obtener las concentraciones de contaminante en cada punto de la malla que anteriormente hemos definido. Si cambiamos cualquier ingrediente como la posición del emisario, la velocidad de la corriente,...deberemos de volver a aplicar la función cálculo para poder volver a obtener un nuevo resultado que tenga en cuenta las nuevas condiciones iniciales.



Las funciones **Colorea** y **Dibuja líneas** son para realizar un tratamiento de la imagen resultante y, por lo tanto, aplicarlas después de haber realizado el cálculo.

La función promedio nos permitirá promediar en el tiempo la simulación numérica. Con el paso del tiempo, pueden variar muchos factores de interés para la simulación como son la cantidad de contaminante que emite la fuente, la dirección de la corriente, la velocidad de la corriente, ... Con todo esto, el programa permite realizar promedios temporales a la hora de hacer el cálculo.

9. Algoritmos usados por el programa

El programa CASTOR-WATER nos da la posibilidad de estudiar numéricamente una gran cantidad de emisores de contaminantes acuáticos que afectan a nuestro medioambiente actual. El programa usa dos modelos diferentes: Modelo de penacho con curvatura y Modelo estratificado. El modelo de penacho con curvatura es ideal para vertidos en las cercanías de la costa y a pocos metros de profundidad como es el caso de vertidos de centrales térmicas y nucleares en costas y ríos. La base del modelo es el uso de una ecuación gaussiana e independiente del tiempo que simula el penacho de contaminantes que se genera en el agua por un emisor.

El modelo estratificado tiene en cuenta la formación de una capa de mezcla y la pycnoclina y es ideal para modelizar vertidos de aguas residuales mediante emisarios submarinos al mar. El modelo puede utilizarse para simular emisiones de emisarios submarinos, tanto en agua dulce como en agua salada. Los algoritmos matemáticos los describiremos con detalle a continuación.

El modelo CASTOR-WATER admite datos de las corrientes para establecer las condiciones de la forma de el penacho contaminante. El programa establece la concentración de contaminante en cada punto afectado del agua producido por cada una de las fuentes emisoras teniendo en cuenta las propiedades del contaminante y el estado del agua. Existe la posibilidad de realizar promedios temporales (diarios, mensuales o anuales) de tal manera que se puede establecer la concentración de contaminante promedio en cada punto del agua.

El presente modelo hace uso de una ecuación Gaussiana independiente del tiempo para cada uno de los puntos emisores. Para cada punto emisor y en cada instante de tiempo el origen de coordenadas se situará en la superficie del fondo en la base del emisario submarino.

El eje X será positivo en la dirección hacia la que fluye el agua y el eje Y será transversal al anterior (perpendicular a la corriente) mientras que el eje Z tendrá la dirección vertical.

Cada uno de los puntos receptores y en cada instante de tiempo tendrán que referirse a este sistema de coordenadas. Cuando hay más de un punto emisor, la concentración de contaminante en cada punto receptor será igual a la suma de

contaminante producida por cada uno de los puntos emisores en dicho punto.

9.1 Modelo de penacho con curvatura

Para un penacho contaminante Gaussiano, la concentración de contaminante en un instante dado y a una distancia x (metros) en el eje X y a una distancia y (metros) en el eje Y vendrá dada por:

$$c = c_c \exp[-(r/b)^2] \quad (1)$$

donde c es la concentración lateral, r es la distancia del punto de medida al centro de la línea que forma el penacho contaminante, c_c la concentración en el centro de la línea que forma el penacho y b es el semiancho del penacho.

El modelo que usa CASTOR-WATER es un modelo de escala (*length-scale model*). Existen dos regímenes diferentes para la descarga que produce el emisario, descarga dominada por momento o por flotación. En cada uno de estos regímenes el flujo lo podemos aproximar con una relación matemática sencilla simplificando el problema y considerando a las posibles perturbaciones como efectos menores. La razón de que este tipo de modelos se denominen modelos de escala es que las ecuaciones que describen los diferentes regímenes se basan en tamaños de escala. Se definen unas longitudes típicas de flotación L_b y momento L_m . La altura z que alcanza el centro del penacho contaminante vendrá dada por

$$z/L_b = 2^{4/3} [(1/2) (x/L_b)^2 + (L_m/L_b) (x/L_b)]^{1/3} \quad (2)$$

el semiancho del penacho será igual a

$$b/L_b = c_b [(1/2) (x/L_b)^2 + (L_m/L_b) (x/L_b)]^{1/3} \quad (3)$$

y el grado de disolución de contaminante $S=c_c/c$ a lo largo del centro del penacho será

$$S = c_s (u_o/u_a) [(1/2) (L_b/L_m) (x/L_m)^2 + (x/L_m)]^{1/3} \quad (4)$$

En las dos ecuaciones anteriores c_b y c_s son dos coeficientes que se pueden ajustar en los parámetros del programa.

Si en nuestra emisión $L_m/L_b \gg 1$, diremos que la emisión está dominada por momento y que el segundo término de las ecuaciones anteriores domina. En caso contrario, la emisión estará dominada por flotación dominando el primer término en las ecuaciones anteriores.

En el caso de descargas horizontales (la velocidad de salida es paralela a la superficie del agua) tendremos que tener en cuenta la relación entre Y y X para definir el centro del penacho contaminante.

$$z/L_b = c_{xy} (x/L_m)^{1/3} \quad (5)$$

Finalmente, añadiremos que nuestro modelo considera la emisión de líquido contaminante en un medio acuático con una corriente uniforme y de tamaño infinito en todas las direcciones. No tiene en cuenta los efectos de la superficie del agua, de límites físicos debido a la costa o de la existencia de relieves rocosos submarinos. El programa simula la difusión de contaminantes sobre todos estos elementos como si no existieran. Cuando cargamos un plano en pantalla con límites, costas, relieves, ... es para tener una guía visual del proceso de contaminación. Existen modelos de elementos finitos que son capaces de simular la dispersión de contaminantes incluyendo los efectos de la costa en dos dimensiones. Sin embargo dichos modelos consideran todo en plano y sitúan al emisario submarino en la superficie del agua con lo que lo que se ha ganado en el cálculo se pierde por otra parte.

9.2 Modelo estratificado

El modelo sigue las indicaciones de la Orden del 13 de Julio de 1993 del Ministerio de Obras Públicas y Transportes del Reino de España, B.O.E. Martes 27 de Julio de 1993, página 22861, I. Disposiciones generales. Proyecto de conducciones de vertidos desde tierra al mar.

Las aguas residuales ascienden alimentándose del agua limpia del medio receptor (el mar) que va diluyendo el efluente. En la superficie se crea una capa de mezcla con una concentración

homogénea dónde los chorros siguen alimentándose ya con agua contaminada y, por lo tanto, sin aumentar su dilución. Suele suceder por diferencias de temperaturas (sobre todo en verano) y /o salinidades (cercanías de una desembocadura) que el medio esté estratificado encontrándonos con dos capas homogéneas separadas por una superficie denominada picnoclina, donde el gradiente de densidad es muy acusado. Lo que suele suceder es que se mezcla el efluente con proporciones de agua más densa del fondo obteniéndose una densidad mayor que la superficial y quedando atrapada sin llegar a la superficie.

Si el tipo de estratificación consiste en la existencia de dos capas homogéneas y separadas por una picnoclina clara diremos que nos encontramos en un medio estratificado. Consideraremos a la picnoclina como superficie libre ficticia. Si la profundidad en el punto de vertido es escasa, y el caudal de vertido es importante, puede alcanzarse la inestabilidad de la capa de mezcla, produciéndose una recirculación de ésta hacia los chorros en toda la profundidad. Esta situación es típica de los vertidos de aguas de refrigeración de las centrales térmicas y nucleares y no suele darse en vertidos de aguas residuales urbanas.

En caso de que supongamos que exista una capa de mezcla se podrá comprobar la estabilidad de la misma mediante la aplicación del siguiente criterio:

$$[u_0^2 B + U_a^2 H] / [(u_0 B g')^{2/3} H] < 0,54$$

u_0 =velocidad del efluente en la boca de descarga (salida) (m/s)
 H =profundidad de la boca de descarga (m)
 g' = aceleración de la gravedad reducida (m/s^2), $g' = g(\rho_a - \rho_0) / \rho_0$
 $g = 9,81 m/s^2$
 ρ_a =densidad del agua de mar (Kg/m^3)
 ρ_0 =densidad del efluente (Kg/m^3)

Valores típicos de los contaminantes:

Materia orgánica como DBO5 - 350g/m³
 Materias en suspensión - 600g/m³
 E. Coli - 10¹² /m³
 N2 total - 30 gN/m³
 Velocidad del efluente - entre 0,6 y 0,8 m/s
 Diámetro mínimo de las bocas - 6cm

Coeficientes de dispersión:

Dispersión horizontal: $K_y (m^2/s) = 3 \times 10^{-5} B^{4/3}$.

B =ancho inicial de la pluma (m)

Dispersión vertical: K_z (m²/s) = $4 \times 10^{-3} U_a e$

e =espesor de la capa de mezcla

U_a =velocidad horizontal del agua de mar, medio receptor, (m/s)

9.2.1 Medio receptor no estratificado

9.2.1.1 Difusor con bocas de descarga muy próximas.- Se consideran en este grupo los difusores cuyas bocas disten entre sí menos de un 3% de la profundidad en el punto de vertido. Distinguiremos 5 casos diferentes:

Caso I:

$\theta \geq 65^\circ$ $F \leq 0,1$ ó

$\theta < 65^\circ$ $F \leq 0,36$

θ =ángulo entre la dirección de U_a con el difusor.

F =número de Fraude $F = U_a^3 (g' q)^{-1}$

q =caudal unitario en el difusor $q = QL_t^{-1}$ (m²/s)

Q =caudal vertido por el emisario m³/s

L_t =longitud total del difusor (m)

La dilución inicial S , el espesor de la capa de mezcla e y el ancho de la pluma se calculan mediante las expresiones:

$$S = 0,27 U_a H q^{-1} F^{-1/3}$$

$$e = 0,29H$$

$$B = SQ/eU_a$$

Caso II:

$25^\circ \leq \theta < 65^\circ$ $F > 0,36$ (*)

La dilución inicial S , el espesor de la capa de mezcla e y el ancho de la pluma se calculan mediante las expresiones:

$$S = 0,38 U_a H q^{-1}$$

$$B = \max[L_t \sin \theta; 0,93L_t F^{-1/3}]$$

$$e = SQ/BU_a$$

Caso III:

$\theta < 25^\circ$ $0,36 < F \leq 20$

La dilución inicial S , el espesor de la capa de mezcla e y el ancho de la pluma se calculan mediante las expresiones:

$$S = 0,294 U_a H q^{-1} F^{-1/4}$$

$$B = \max[L_t \sin \theta; 0,93L_t F^{-1/3}]$$

$$e = SQ/BU_a$$

Caso IV:

$$\theta < 25^\circ \quad F > 20$$

La dilución inicial S , el espesor de la capa de mezcla e y el ancho de la pluma se calculan mediante las expresiones:

$$\begin{aligned} S &= 0,139 U_a H q^{-1} \\ B &= \max[L_t \sin \theta; 0,93L_t F^{-1/3}] \\ e &= SQ/BU_a \end{aligned}$$

Caso V:

$$\theta > 65^\circ \quad F > 0,1$$

La dilución inicial S , el espesor de la capa de mezcla e y el ancho de la pluma se calculan mediante las expresiones:

$$\begin{aligned} S &= 0,58 U_a H q^{-1} \\ B &= \max[L_t \sin \theta; 0,93L_t F^{-1/3}] \\ e &= SQ/BU_a \end{aligned}$$

En los casos II a V si resulta que $e > H$ se toma $e = H$ y $S = U_a B H / Q$.

9.2.1.2 Difusor con bocas de descarga muy separadas.- Se consideran en este grupo los difusores cuyas bocas disten entre sí más de un 20% de la profundidad en el punto de vertido. En este caso los chorros no interaccionan hasta llegar a la capa de mezcla por lo que la dilución puede calcularse para cada chorro aislado pero al llegar a la superficie se formará una capa de mezcla. En este caso consideraremos el caso de pequeñas velocidades (Caso I) que es el que corresponde con condiciones pésimas y que se resuelven el conjunto de ecuaciones mediante iteraciones:

$$\begin{aligned} B &= \max[L_t \sin \theta; 0,93L_t F^{-1/3}] \\ S &= 0,089 g'^{1/3} (H-e)^{5/3} Q_b^{-2/3} \\ e &= SQ/BU_a \end{aligned}$$

Q_b =Caudal vertido por una boca de descarga individual (m^3/s). Este grupo de ecuaciones se resuelve iterativamente tantas veces como sea necesario hasta obtener la convergencia. El número de iteraciones se puede modificar mediante el parámetro N_{it} de la función PARAMETROS DEL CÁLCULO del programa. Aumentando su valor, aumentamos la convergencia numérica pero ralentizamos el programa. Se deberá tomar un valor óptimo (si lo aumentamos más no notamos cambios en los resultados) para dicho parámetro. Para velocidades más altas y para difusor entre el 3% y el 20% de distancia serán necesarios métodos más avanzados.

9.2.1.3 Descarga por boca única.- Se tomará, en general, el siguiente sistema:

$$\begin{aligned}
 e &= 0,15H \\
 S &= 0,089 g'^{1/3} (H-e)^{5/3} Q^{-2/3} \\
 B &= SQ/eU_a (*)
 \end{aligned}$$

pero si la velocidad es tan alta que resulta $B \leq 0,3H$ no valen las expresiones anteriores y tendrá que tomarse un modelo que tenga en cuenta la curvatura del chorro. El programa emite un aviso en dicho caso.

9.2.2 Medio receptor estratificado

En este caso se ha formado la picnoclina. Distinguiremos los siguientes casos:

9.2.2.1 Difusor con bocas de descarga muy próximas.- Se consideran en este grupo los difusores cuyas bocas disten entre sí menos de un 3% de la profundidad en el punto de vertido.

$$\begin{aligned}
 y_{\max} &= 2,84 (g' q)^{1/3} \Gamma^{-1/2} \\
 S &= 0,31 g'^{1/3} y_{\max} q^{-2/3} \\
 B &= \max[L_t \sin \theta; 0,93L_t F^{-1/3}] \\
 e &= SQ/BU_a
 \end{aligned}$$

siendo $\Gamma = -(g/\rho) d\rho_a/dy$ el coeficiente de estratificación (s^{-2}) y y_{\max} la elevación máxima de la capa de mezcla cuando se produce el atropamiento (m).

9.2.2.2 Difusor con bocas de descarga muy separadas.- Se consideran en este grupo los difusores cuyas bocas disten entre sí menos de un 3% de la profundidad en el punto de vertido.

$$\begin{aligned}
 y_{\max} &= 3,98 (g' Q_b)^{1/4} \Gamma^{-3/8} \\
 S &= 0,071 g'^{1/3} y_{\max}^{5/3} Q_b^{-2/3} \\
 B &= \max[L_t \sin \theta; 0,93L_t F^{-1/3}] \\
 e &= SQ/BU_a
 \end{aligned}$$

9.2.2.3 Descarga por boca única.-

$$\begin{aligned}
 y_{\max} &= 3,98 (g' Q)^{1/4} \Gamma^{-3/8} \\
 S &= 0,071 g'^{1/3} y_{\max}^{5/3} Q^{-2/3} \\
 e &= 0,13 y_{\max} \\
 B &= SQ/eU_a
 \end{aligned}$$

Si el tipo de estratificación se traduce en un perfil de velocidades distinto de los anteriores, se requerirá de

métodos de integración numérica más complejos para resolver el caso.

9.2.3 Posición en el punto de surgencia

Para aplicar los modelos anteriores es necesario situar el origen de la pluma que coincidirá con el punto en el que el chorro alcanza la superficie o picnoclina, según el caso. Para calcular dicho punto usaremos U_a y la velocidad de ascensión del efluente de tal manera que

Difusor con bocas de descarga muy próximas.- $W=1,66(g'q)^{1/3}$
siendo W la velocidad ascensional del chorro (m/s).

Difusor con bocas de descarga muy separadas.-
 $W=6,3(g'Q_b/H)^{1/3}$.

Descarga por boca única.- $W=6,3(g'Q/H)^{1/3}$.

En los dos últimos casos se sustituirá H por y_{\max} cuando se trata de medio receptor estratificado. La posición con respecto al punto de surgencia nos indicará si estamos en zona próxima o en zona alejada a la hora de evaluar las concentraciones (siguiente punto).

9.2.4 Cálculo de las concentraciones

La concentración en un punto de la pluma determinado por sus coordenadas X, Y y Z vendrá dada por la expresión:

$$C(X, Y, Z) = (C_0/S) F_0(t) F_1(t) F_2(Y, t) F_3(Z, t)$$

C_0 =Concentración de contaminante en el efluente

S =Dilución inicial de la capa de mezcla

siendo t una variable auxiliar que se calcula mediante $t=X/U_a$.

$F_0(t)$ tiene en cuenta la autodepuración de la pluma no conservativa y tiene la forma:

$$F_0(t) = 10^{-t/T90}$$

El resto de las funciones tienen forma diferente dependiendo del punto de aplicación:

(a) Zona próxima al punto de surgencia:

Aquí el espesor de la capa de mezcla es inferior a la profundidad y , por tanto, existe dispersión vertical. El perfil de concentraciones tiene forma de meseta.

$$\begin{aligned} F_1(t) &= 1 \\ F_2(Y, t) &= (1/2) [\operatorname{erf}[(B/2+Y)/(\sigma_y 2^{1/2})] + \operatorname{erf}[(B/2-Y)/(\sigma_y 2^{1/2})]] \\ F_3(Z, t) &= (1/2) [\operatorname{erf}[(e+Z)/(\sigma_z 2^{1/2})] + \operatorname{erf}[(e-Z)/(\sigma_z 2^{1/2})]] \end{aligned}$$

Siendo $\sigma_y = (2K_y t)^{1/2}$ y $\sigma_z = (2K_z t)^{1/2}$. Las funciones error erf las evalúa numéricamente el programa mediante integración. El método de integración que usaremos es mediante la descomposición de trapecios de la función área de la curva, el más sencillo que hay. El número de rectángulos a considerar lo podremos variar mediante el parámetro N_{int} de la función PARAMETROS DEL CÁLCULO del programa. Aumentando su valor, aumentamos la convergencia numérica de las integrales pero ralentizamos el programa. Se deberá tomar un valor óptimo (si lo aumentamos más no notamos cambios en los resultados) para dicho parámetro.

(b) Zona alejada al punto de surgencia:

Aquí se supone que la pluma se homogeneizó en vertical cuando la profundidad era H_h que es la profundidad en el punto donde el espesor de la pluma empieza a ocupar toda la capa de agua. Tenga en cuenta que el programa no permite introducir relieves topográficos en el fondo del mar por lo que H_h coincide con la altura a la superficie del agua del emisario submarino más profundo que tenemos. En caso de que quisiera considerar una situación de relieve en el que la altura del punto de surgencia H_h fuese mayor podría introducir otro emisario, con emisión nula, con una profundidad igual a H_h en cuyo caso el programa podría realizar el cálculo tomando como H_h la altura a la superficie del agua del emisario submarino más profundo que tenemos (que hemos introducido artificialmente). Aproximaremos las integrales de la función error erf de tal manera que

$$\begin{aligned} F_1(t) &= (2\pi)^{-1/2} B \sigma_y^{-1/2} \\ F_2(Y, t) &= \exp[-Y^2/2\sigma_y^2] \\ F_3(Z, t) &= e/H_h \end{aligned}$$

Siendo ahora $\sigma_y = (B^2/16 + 2K_y t)^{1/2}$. El cálculo hidráulico del emisario en el caso de que quiera tener en cuenta pérdidas por fricción se podrá realizar por los métodos de tanteo que sugiere la orden ministerial.

(*) Hemos encontrado lo que creemos, a nuestro juicio, errores tipográficos en la Orden del 13 de Julio de 1993 del Ministerio de Obras Públicas y Transportes del Reino de España, B.O.E. Martes 27 de Julio de 1993, página 22861, que

hemos subsanado atendiendo a criterios de consistencia matemática. El software asume las presentes correcciones en el cálculo.

10. Referencias científicas

- Orden del 13 de Julio de 1993 del Ministerio de Obras Públicas y Transportes del Reino de España, B.O.E. Martes 27 de Julio de 1993, página 22861, I. Disposiciones generales. Proyecto de conducciones de vertidos desde tierra al mar.
- Gerard Kiely, 1999. *Ingeniería Ambiental. Fundamentos, entornos, tecnologías y sistemas de gestión*. Ed. McGraw-Hill.
- E.N. Ramsden, 1996. *Chemistry of the Environment*. Ed. Stanley Thornes Ltd.
- Geoff Hayward, 1992. *Applied Ecology*. Ed. Thomas Nelson and Sons Ltd.
- Secretaría Provisional del Convenio de Estocolmo y la Unidad de Información para convenios del PNUMA, 2003. *Eliminando los COP del Mundo: Guía del convenio de Estocolmo sobre contaminantes orgánicos persistentes*. Publicado por PNUMA.
- Doneker, R.L., and G.H. Jirka. 1990. CORMIX1: An Expert System for Mixing Zone Analysis of Conventional and Toxic Single Port Aquatic Discharges. EPA/600/3-90/012, USEPA, Athens, GA, 30605.
- Akar, P.J, and G.H. Jirka. 1991. CORMIX2: An Expert System for Hydrodynamic Mixing Zone Analysis of Conventional and Toxic Submerged Multipoint Discharges. EPA/600/3-91/073, USEPA, Athens, GA 30605.
- Jones, G.R., and G.H. Jirka. 1991. CORMIX3: An Expert System for the Analysis and Prediction of Bouyant Surface Discharges. Technical Report of the School of Civil and Environmental Engineering, Cornell University, Ithaca, NY. (To be released in updated form by USEPA in 1994).
- Jirka, G.H., and S.W. Hinton. 1992. User's Guide for the Cornell Mixing Zone Expert System (CORMIX). National Council of the Paper Industry for Air and Stream Improvement, Inc., Technical Bulletin 624, 260 Madison

Ave., New York, NY 10016. (To be released in updated form by USEPA in 1994).

- IKSR 2000 : M. Braun, "The Pathways for the most important hazardous substances in the rhine basin (during floods)", International Commission for the Protection of the Rhine, Koblenz, Germany, in Int. Symposium on River Flood Defence, Kassel,, Kassel Reports of Hydraulic Engineering No. 9/2000