



GOBIERNO DE  
**CHILE**  
INSTITUTO NACIONAL DE  
HIDRÁULICA



# **MODELOS MATEMÁTICOS HIDRODINÁMICOS DE CALIDAD DE AGUAS**

NOVIEMBRE 2010

DIRECCION EJECUTIVA: NATANIEL COX 31 OF. 36, SANTIAGO - FONONO: (2) 6962556 – FAX: (2)6962556  
LABORATORIO HIDRAULICO: CONCORDIA 0620, PEÑAFLOL - FONONO: (2) 8120100 - FAX: (2)6962556  
WWW. INH. CL,

Contacto: <http://oirs.mop.gov.cl/>



## 1. Introducción

El INH con el fin de contribuir a la divulgación de información de interés, relevante para el desarrollo de estudios hidráulicos en el país, ha querido contribuir con el presente documento para presentar un listado y breve reseña de los modelos (software) hidrodinámico más utilizados actualmente por la comunidad Internacional. Dado el gran desarrollo que ha experimentado esta área en los últimos 10 años, donde actualmente existen numerosos modelos, la mayoría especializados en una problemática o área en particular, es que, en esta ocasión, se presentarán aquellos modelos aplicables a los estudios de hidrodinámica ambiental en zonas costeras y estuarios. A futuro, se presentarán publicaciones similares a aquellos modelos relevantes en otras áreas de interés como por ejemplo, el área fluvial, la modelación en estudios de inundación en ríos y costas, modelos para la propagación de Tsunamis, modelos de calidad de aguas en embalses, modelos para la propagación de oleaje oceánico y local, hidrología y aguas subterráneas.



## 2. Objetivo

- Difundir a la comunidad de científicos e ingenieros los modelos numéricos hidrodinámicos de carácter público, más desarrollados a la fecha y aplicables a los estudios de calidad e hidrodinámica para zonas costeras y estuarios.
- Describir aquellos aspectos y características más relevantes de estos modelos y diferencias entre ellos.
- Especificar un breve glosario con los términos y conceptos más importantes utilizados en la jerga.
- Difundir aquellos sitios de internet, modelos de dominio público y herramientas relacionadas con la modelación numérica hidrodinámica de dominio público.



### 3. Alcance

Para limitar el alcance de este desafío, se exponen aquí aquellos modelos (software) aplicables a las zonas costeras y de estuarios, con un enfoque a la modelación de la calidad del agua. A pesar de ello, varios de estos modelos pueden ser aplicables a otras zonas y a problemáticas variadas con el debido conocimiento de las capacidades y limitaciones de cada modelo en particular.

Se entenderá que todos los modelos aquí presentados son públicos en el sentido que cualquier investigador e ingeniero que lo desee (y tenga los medios) puede acceder a él. En otras palabras, los modelos aquí presentados, puede ser utilizado por cualquier investigador bajo el consentimiento del desarrollador (casi siempre).

Desde la perspectiva de los derechos de autor, un modelo público puede tener licencia comercial ó puede ser de dominio público (con variantes). Por ejemplo, el modelo MIKE 21 o MIKE 3 es un modelo público con licencia comercial, en particular del DHI. Este documento, si bien se nombrarán aquellos paquetes comerciales más importantes, se centrará en los modelos numéricos de libre acceso.

Finalmente, se asume que el lector tiene conocimiento suficiente del tema para implementar el modelo que mejor le parezca de acuerdo a su experiencia, siempre considerando el entrenamiento respectivo en su uso y con el debido conocimiento de las limitaciones propias de estos (tal como su nombre lo dice, son modelos). Se recomienda, que cualquier trabajo de modelación, se desarrolle en acuerdo a las buenas prácticas de la modelación, considerando siempre, que las etapas de calibración, validación y análisis de los resultados, representan el aspecto más relevante (y también costoso) del proceso de modelación matemática.



## 4. Modelos

En el campo de la hidrodinámica, en los últimos años, la modelación matemática ha adquirido cada vez más importancia. Es así, como por ejemplo, en el campo de la hidrodinámica ambiental, gran parte de las decisiones que se toman hoy en día son en base a modelos matemáticos mecanicistas. Al respecto, los modelos hidrodinámicos son utilizados para cuantificar los impactos ambientales producto de proyectos, o para evaluar la pertinencia de una obra en particular, lo que en síntesis, los convierte en una herramienta fundamental en la toma de decisiones.

La gran mayoría de modelos numéricos de fluidos derivan sus ecuaciones del principio de continuidad, de la ecuación de Navier-Stokes (2da ley de Newton) y de las ecuaciones de la Termodinámica. En particular, todos los modelos hidrodinámicos aplicables a los estudios de estuarios y costas aquí expuestos, se basan en el modelo de ondas larga en base a las ecuaciones RANS (Reynolds Average Navier Stokes), por lo que podríamos decir que son similares, sin embargo, esto no tan así, pues existen diferencia entre ellos, dependiendo de la suposición realizada para completar y simplificar las ecuaciones. Quizás la más importante en términos prácticos, es la ecuación de cierre de la turbulencia asumida, otras diferencias significativas se pueden encontrar en los supuestos para simplificar las ecuaciones, como por ejemplo el supuesto de presión hidrostática, de la densidad, etc.

Otra gran diferencia entre ellos se produce por el método numérico discreto empleado para solucionar las ecuaciones diferenciales (PDE) en el dominio, los modelos aquí presentes, caen en tres categoría los FDM, FEM, FVM. (Cada uno con sus ventajas y desventajas respectivas).

### 4.1 Software de Licencias Comerciales

En general, en Estados Unidos y en los países europeos, los modelos con licencias de uso comercial cuentan con el respaldo y validez de los distintos agentes fiscalizadores (EPA, SMIC, etc.). Corresponden en general a los modelos más utilizados en consultoría, y por lo tanto, con un mayor número de usuarios.

Dada su característica comercial, el soporte se encuentra dado por una institución la cual se ha encargado de mantener la versión del software actualizada, libre de fallas y con mejoras constantes.

Dentro de las empresas que venden estas licencias, la gran mayoría corresponde a empresas que en estricto rigor, a partir de un modelo con código de dominio público hacen interfaces para el post y preproceso. Estos programas buscan ser gráficamente agradables, amigables con el usuario, sin modificar el código fuente del modelo de dominio Público. Este es el caso general de las empresas Norte-americanas (AQUAVEOS, HAESTAD, BOSS), por lo tanto, sus precios son mucho más bajos en comparación a sus pares europeos (DELFT, DHI) quienes invierten importantes sumas en investigación, entre estos costos esta la constante mejora del motor de cálculo, desde el punto de vista computacional. Este desarrollo y mejora ha llevado, en general, a que los modelos más eficientes corresponda justamente a estos modelos comerciales, con motores de cálculos más



eficientes y rápidos desde el punto de vista computacional, así lo respaldan varios estudios de benchmark realizados, entre los que destaca “Desktop review of 2D hydraulic modelling packages” 2010, (SBN: 978-1-84911-190-4, EA UK).

Estas empresas además ofrecen cursos de capacitación, generalmente pagadas a parte, una documentación detallada con ayudas y manuales muy completos, y soporte en línea para los usuarios.

Con todos estos beneficios, se puede suponer a priori que la principal desventaja corresponde a su alto costo, el cual efectivamente todavía es muy alto para la consultoría nacional. De esta manera, el mercado nacional está restringido a sólo unas pocas empresas, que han invertido, o que por pertenecer a un consorcio internacional, pueden adquirir estos programas.

Otra de las desventajas es que elaboran archivos binarios propios, lo que limita la posibilidad de poder accederse con cualquier software.

A continuación se presentan y describen levemente algunos de los modelos pagados más destacados del mercado.

#### **4.1.1 MIKE DHI.**

Modelo europeo desarrollado por el DHI (Danish Hydraulic Institute). Sus modelos más conocidos denominados MIKE 21 y MIKE 3, para 2D y 3D respectivamente, representan posiblemente la alternativa comercial más difundida en la consultoría internacional. La cantidad de proyectos y su aplicación, engloba una cantidad muy amplia de aplicaciones en la ingeniería hidráulica y marítima, contando con cientos de estudios alrededor del mundo.

DHI divide los modelos en módulos (dependiendo de las variables de estado de interés), los que deben ser comprados independientemente.

En el caso particular, de estudios de calidad para costas y estuarios, los módulos mínimos a considerar son:

Módulos Hidrodinámicos (HD)

Transporte advectivo y dispersivo (AV)

Calidad de Aguas y componente biológica (ECOLAB)

Otros módulos importantes que deben ser considerados, dependiendo de la problemática que se desea resolver y la ubicación de la descarga corresponden a:

Oleaje (SW)

Transporte de Sedimentos Cohesivos y no-Cohesivos (MT y ST).

Cuenta con un buen software de apoyo, y herramientas que permiten exportar la información a distintos formatos, por ejemplo a GIS (Arc-GIS), la plataforma está limitada a Windows.



El precio dependerá de los módulos que se adquieran, estimándose que una licencia que contenga los módulos mínimos de calidad (HD 3D, ECOLAB, MET, AV), más la plataforma básica, su valor bordearía los 50.000 Euros.

#### **4.1.2 DELFT 3D.**

Modelo europeo desarrollado por el instituto independiente DELTARES de Holanda. Al igual que el modelo anterior, representa uno de las plataformas más utilizada por la consultoría internacional, contando con cientos de estudios alrededor del mundo.

Similar al caso anterior, DELFT divide los modelos en módulos, cada uno de ellos para resolver las ecuaciones de estado correspondientes. Para estudios de calidad se requiere como mínimo:

El modulo Hidrodinámicos (3DFLOW)

Calidad de aguas (WAQ)

De sedimentos (SED)

Además de los módulos para editar la malla e interpolar la Batimetría.

Su interfaz se encuentra disponible para Windows y Linux, cuenta con herramientas para facilitar la entrega de información a GIS, el precio considerando todos los módulos bordea aproximadamente los 40.000 Euros

#### **4.1.3 RMA -4.**

RMA4 es un modelo hidrodinámico y de calidad bidimensional cuya solución se basa en los elementos finitos. Dado que es 2D, supone una concentración y distribución uniforme en la vertical, para hasta seis constituyentes en forma conservativa y no-conservativa.

Su código fuente fue desarrollado por el cuerpo de Ingenieros de Estados Unidos (King, Water Resources Engineers, Corps of Engineers.1973)

La interfaz para el post y preproceso es desarrollada a la fecha por la empresa AQUAVEOS, la última versión corresponde a una plataforma integrada de varios modelos denominada Surface Modelling System (SMS)

#### **4.1.4 GEMSS (Generalized Environmental Modelling System for Surface waters)**

Es un modelo con excelentes prestaciones, el cual ha sido validado por la EPA, por el Bureau of Reclamation, y por distintas agencias internacionales como el Banco Mundial. Lo que lo hace una muy buena opción, posee interfaces para el pre-post proceso, funciona acoplado al modelo CE-QUALW2, además la empresa particular y dueña del código realiza asesorías y talleres en el uso del software, en conclusión, se puede decir que es un modelo conocido, de prestigio y que se ha utilizado en un número importante de estudios. Su licencia, que si bien es de dominio público, su uso está restringido a la evaluación subjetiva de los autores, dependiendo del proyecto que se desea evaluar, y dependiendo del especialista que realizará la tarea, esto con el fin de proteger el



prestigio del modelo. En general, se espera que para aplicarlo a un proyecto con fines de lucro, se pida un porcentaje de la participación en las ganancias, por lo que se considera como un modelo pagado<sup>1</sup>.

Finalmente, como modelos comerciales menos populares, pero que a futuro pueden ser importantes, por lo que vale la pena mencionarlos:

#### **4.1.5 CWR-ELCOM**

Modelo Hidrodinámico 3D, no hidrostático, Desarrollado en Australia por la universidad de Wester-Australia, Aplicable a Lagos, Estuarios y Costas

#### **4.1.6 UNTRIM**

Modelo Hidrodinámico 3D desarrollado en Italia por la Universidad de Trento, se puede adquirir por un menor valor, es menos conocido y cuenta con una interfaz más limitada.

### **4.2 Software de Licencias de Dominio Público**

En general los modelos con licencias de dominio público son sin costos. Existen sin embargo compromisos, como participar de una comunidad de modeladores, agregar la reseña del uso del software en los informes que se elabore, etc. Otros, van más allá con los términos de licencia, estableciendo que su uso está limitado al área comercial, no pudiendo utilizarse con fines de lucro, este el caso, por ejemplo del modelo FVCOM. Otros liberan el código y restringen el uso del modelo a personas o proyectos destacados y relevantes, ó incluso, cobran alguna comisión por participar en el proyecto, este es el caso del modelo GEMSS.

En general el soporte esta dado por una comunidad de usuarios y el respaldo una entidad sin fines de lucro (como Universidades, o alguna entidad gubernamental)

La mayor parte de la documentación de los modelos de dominio público, corresponden a manuales que se han ido completando en el tiempo a partir de distintas publicaciones, comentarios de usuarios, foros, etc. Es por este motivo que el aprendizaje se ve algo más dificultoso que los pares comerciales.

En general, los modelos de dominio público, poseen interfaces de pre y post proceso precarias, o simplemente no las poseen y es necesario programar. Algunas apoyan estas tareas desarrollando códigos en otros software tanto de origen comercial como también de dominio público (MATLAB, OCTAVE, SCILAB, FORTRAN, PYTHON, ETC). Algunos, los más reconocidos y con mayor número de usuarios poseen interfaces propias, bien detalladas (como por ejemplo EFDC, FVCOM (VISIT), ROMS, MOHID).

Respecto del formato de entrada y salida, a diferencia de los modelos comerciales, convergen a formatos comunes, destaca entre este el formato NETCDF, o el DEM en formato ASCII grid y

---

<sup>1</sup> <http://www.erm-smg.com/gemss.html>



SURFER, existiendo un importante número de software de código abierto que puede manejar estos formatos.

Los códigos fuentes en general vienen en Fortran, C++, y otros lenguajes por lo que es necesario, compilar el modelo. Esta tarea sin embargo, no es necesaria de realizar en algunos modelos, sobre todo en los gubernamentales, por ejemplo la EPA, distribuye el código compilado, en general para la plataforma Windows.

En general, para los modelos más reconocidos no es necesario ser un experto en programación, pues los programas vienen compilados o con tutoriales claros para realizar esta tarea, sin embargo es necesario tener un buen manejo computacional a nivel de usuario, y con leves matices de programador sobre todo para la entrada de datos y el análisis y preproceso de la información.

A continuación se presentan un listado de los modelos públicos más destacados y utilizados en la actualidad, con una muy breve reseña (más detalle en las referencias de este documento, o en Internet).

#### 4.2.1 FVCOM

(Finite Volume Coastal Ocean Model) Es un modelo relativamente nuevo (menos de 10 años), quizás a la fecha el mejor modelo hidrodinámico para ser aplicado a distintos dominios de modelación, posee buenas herramientas y excelentes prestaciones gráficas (con Visit), una comunidad muy activa. Se pueden acoplar distintos modelos, para el cierre de las ecuaciones de turbulencia se puede usar el esquema del modelo GOTM, también existen módulos acoplados para incluir estudios ecológicos y de otras forzantes como por ejemplo oleaje. En Chile es utilizado por un grupo selecto de especialistas. En el extranjero hay varias instituciones de renombre entre ellas por ejemplo el (NOAA), tiene una limitación importante en términos de licencia respecto a que no se puede usar con fines comerciales, por lo cual su uso queda restringido a usuarios como universidades y ministerios. Su plataforma de preferencia es Linux, en Windows puede usarse con ciertas dificultades. <http://fvcom.smast.umassd.edu/FVCOM/index.html>

#### 4.2.2 EFDC (Environmental Fluid Dynamics Code)

Es un modelos 3D desarrollados a fines de los 80, para estudios de calidad de aguas en zonas costeras y estuarios, puede ser acoplado a varios modelos de calidad como WASP7 y CE-QUAL\_ICM, además internamente incluye un modelo de calidad propio denominado HEM3D. Este modelo además incluye modelos lagrangianos para plumas (similar al JETLAG), lo que permite acoplar un modelo de campo cercano, con uno de campo lejano. EFDC es de por sí, el modelo hidrodinámico 3D adoptado y recomendado por la EPA para los estudios de calidad de aguas Desde sus inicios el modelo EFDC ha sido mejorado sistemáticamente. Históricamente, la EPA fue la encargada de realizar las mejoras, de impartir talleres para su uso y divulgación, después del 2007, dicha responsabilidad fue delegada a otras empresas de consultoría ambiental (TetraTech, DS-Intl) las que han sido las encargadas de actualizar, difundir, capacitar y generar herramientas de libre acceso para el pre y post proceso. Actualmente (2010) Dynamics Solutions, es la empresa



que tiene esa tarea y posee una interfaz de libre acceso, que permite el pre y post proceso, denominada EFDC EXPLORER<sup>2</sup>.

#### **4.2.3 SELFE (Semi-implicit Eulerian–Lagrangian finite-element model for cross-scale ocean circulation)**

Es un modelo nuevo de libre acceso, corresponde a la mejora del modelo ELCIRC, mezcla una solución numérica muy eficiente entre volúmenes finitos, con matices lagrangianas. Se ha encontrado buena correlación en resultados de plumas de ríos y su descarga al mar. Dado su reciente aparición, no existen muchos estudios que lo respalden, el motor de calidad interno está en la etapa de desarrollo

. <http://www.stccmop.org/CORIE/modeling/selfe/>

#### **4.2.4 ROMS (Regional Ocean Model System)**

Es un modelo 3D hidrostático de excelentes prestaciones, quizás uno de los más utilizados por la comunidad internacional en estudios de circulación marítimos, se utiliza a escala de Dominios Internacionales hasta dominios locales, es utilizado por entidades como el NOAA para estudios marinos y de calidad en gran escala. Puede ser acoplado con varios modelos de distintas características, pudiendo evaluarse acoplarse con modelos de oleaje (SWAN), y a futuro con modelos atmosféricos. Este modelo posee un número de usuarios importantes, lo cual lo hace muy atractivo, su foro es muy activo, existen herramientas elaboradas para ROMS que pueden ser utilizadas en otros modelos como el EFDC. Su plataforma preferencial es Linux,. <http://www.myroms.org/>. Mucha de sus herramientas está elaboradas para MATLAB. Los archivos de salida y entrada funcionan en base a la extensión NETCDF lo que lo hace muy compatible, por ejemplo se han corrido acoplado con otros modelos como el HYCOM, pudiendo aplicar técnicas, como data assimilation, pudiendo ser utilizado como un modelo de forecast.

Finalmente se mencionan un modelo destacado y no nombrado en los estudios de selección de modelos. Esto con la finalidad que, es posible, que algún consultor entregue algún resultado con este modelo:

#### **4.2.5 MOHID (MOdelo HIDrodinâmico)**

Es un modelo desarrollado por MARETEC (Marine and Environmental Technology Research Center) en el instituto politécnico de Lisboa. Es un modelo hidrodinámico 3D portugués, que posee módulos para estimar desde el transporte de sedimentos hasta la calidad de las aguas. Posee una interfaz que funciona en Windows, y su licencia no posee restricciones. Esta en constante

---

<sup>2</sup> <http://www.ds-international.biz/>.



actualización, parte de la comunidad del modelo la integran españoles, lo que hace atractivo la cercanía del idioma. Posee menos publicaciones que los modelos anteriormente utilizado <http://www.mohid.com>

#### **4.2.6 CH3D (Curvilinear-grid Hydrodynamics model in three-dimensions (3D))**

Uno de los primeros modelo 3D , fue desarrollado por el Dr. Y. Peter Sheng, que actualmente es profesor de la universidad de Florida, en soporte con el U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station (WES) in Vicksburg, MS, EEUU. Es, por este motivo que la versión pública de este modelo se denomina CH3D-WES. Posee varios módulos, para estimar el transporte de sedimentos (CH3D-SED) y pudiendo acoplar a modelos de calidad de las aguas. Su código fuente esta en Fortran, por lo que requiere un trabajo de compilación. Actualmente es utilizado por la universidad de florida en investigación, poseyendo versiones mejoradas del software, pero no son de pública distribución.



A continuación se presenta una lista con las características técnicas más relevantes de los modelos señalados:

MODELO	EFDC	FVCOM	MIKE 3 FM	DELFT 3D	CH3D	SELFE	GEMSS	UnTRIM
Tipo de Grilla	Structurada (Quasi-curvilínea)	No Estructurada (T)	No Estructurada (T, Q)	Structurada (Curvilínea)	Structurada (Curvilínea)	No Estructurada (T, Q)	Structurada (Quasi-curvilínea)	Structurada (Quasi-curvilínea)
Dimension	1D/2D/3D	3D	3D	3D	3D	3D	3D	3D
Metodo de resolución	Quasi 3D	3D completo - QUASI 3D	3D completo	3D completo	Quasi 3D	Quasi 3D	n/a	
Metodo Numérico	FDM	FVM	FEM & FVM	FEM & FVM	FDM	FEM	FDM	FDM & FVM
Grilla Vertical	sigma Grid	sigma Grid	sigma - Z Grid	sigma - Z Grid	Sigma	Sigma-Z grid	Z Grid	Z Grid
Hipotesis	Hidrostatica- Boussinesq - Eddy viscosity	Hidrostatica - No Hidrostatica- Boussinesq - Eddy viscosity	No Hidrostatica- Boussinesq - Eddy viscosity	No Hidrostatica- Boussinesq - Eddy viscosity	Hidrostatica- Boussinesq - Eddy viscosity	Hidrostatica- Boussinesq - Eddy viscosity	Hidrostatica- Boussinesq - Eddy viscosity	
High-Order Scheme	si	si	si	si	si	si	si	si
Ecuacion de Cierre	H: Smagorinsky V: Mellor-Yamada level 2.5	H: Smagorinsky V: M-Y 2.5 V: K-Epsilon V: GOTM	H: Smagorinsky V: K-Epsilon	H y V: K-epsilon K-L AEM	ARAP	(2003) V: M-Y 2.5 V: GOTM V: K-Epsilon	n/a	H: GLS V: K-Epsilon V: K-Omega V: M-Y 2.5



## 5. Lugares y sitios de Interés en la divulgación

Para una mayor profundidad, se exponen sitios web recomendados, donde diferentes comunidades e instituciones internacionales, se han encargado de divulgar los modelos numéricos de dominio público, que poseen un grado significativo de desenvolvimiento en la comunidad, que los hacen destacar respecto del resto, a continuación se presentan las más destacadas:

**Ocean Modeling:** Es una comunidad fomentada por las siguientes instituciones, las cuales contribuyen de distinta manera:

- Office of Naval Research (ONR).
- Rutgers University, IMCS
- Princeton University
- UCLA
- University of Colorado
- Oregon State University PO

CESR

<http://www.ocean-modeling.org/index.php>

### **Community Surface Dynamics Modeling System:**

Es una comunidad diversa de investigadores, expertos que promueve la modelación de todos los procesos terrestres por el desarrollo, soporte y difusión integrada de módulos de software que predicen el movimiento de los fluidos y del flujo de sedimentos y solutos en las diferentes zonas de la tierra lo que influyen en los proceso dinámicos que conllevan el continuo cambio de la superficie mediante la interacción de la interface entre la litosfera, hidrosfera, cryosfera y la atmosfera.

[http://csdms.colorado.edu/wiki/Main\\_Page](http://csdms.colorado.edu/wiki/Main_Page)

### **Surface Water Quality and Flow Modeling Interest Group:**

[http://smig.usgs.gov/SMIG/model\\_archives.html](http://smig.usgs.gov/SMIG/model_archives.html)



## 6. Glosario

Advección	: Proceso de transporte que se debe al movimiento de un fluido.
Aguas superficiales	: Cuerpos de agua que están en contacto con la atmósfera, como ríos, lagos, aguas costeras y estuarios.
Aproximaciones	: Son básicamente simplificaciones a las ecuaciones principales de flujo (continuidad y momentum) basadas en determinadas hipótesis con el fin de disminuir la complejidad de cálculo de las ecuaciones de Flujo.
Baroclínico	: Proceso en que la densidad depende de la temperatura y la presión
Barotrópico	: Proceso en que la densidad sólo depende de la presión
Boyancia	: es una fuerza ascendente, causada por la presión de un fluido y que se opone el peso de un objeto.
Calibración:	: El proceso de ajuste de valores de los parámetros en un modelo para tratar de coincidir con los datos registrados, por lo que el modelo puede ser tomado como una buena representación de la realidad.
Características del flujo	: Propiedades de movimiento de un flujo.
Chorro	: Inyección de flujo de alta velocidad. También se conoce como inyección de impulso o reacción no boyante.
Convección	: Proceso advectivo asociado al movimiento vertical de un fluido
Difusión	: Proceso de transporte debido a diferencias de concentración en el espacio
Dispersión	: proceso de transporte transigente y de mezcla irreversible



Dominio de modelación	: Espacio físico y temporal que se representa en el modelo.
Eutroficación	: Crecimiento excesivo de algas que provocan un daño ecológico
FDM	: Abreviatura de Método de las diferencias finitas.
FEM	: Abreviatura del Método de los elementos finitos
FVM	: Abreviatura del Método de los volúmenes finitos.
Hidrodinámica	: Rama de mecánica de fluidos que estudia el movimiento del agua.
Intrusión salina	: la invasión de agua salada en las zonas de agua dulce.
Los procesos hidrodinámicos de mezcla	: Procesos físicos que determinan el destino y la distribución de las aguas con distintas características al medio.
Modelación hidrodinámica	: Descripción las propiedades físicas del agua en movimiento como la velocidad, la circulación, y niveles de agua dentro de un cuerpo de agua impulsado por condiciones externas, incluyendo las mareas, los vientos, las entradas, las salidas, etc.
Problema de Cierre de la Turbulencia	: Las ecuaciones RANS no solucionan el problema de la turbulencia la cual queda representada por la "Tensión de Reynolds", representando un sistema indeterminado, este problema es conocido como problema de Cierre de la Turbulencia.
RANS Equations	: Es la sigla de "Reynolds Average Navier Stokes" Son las ecuaciones de Navier Stokes promediadas en el tiempo mediante la descomposición de Reynolds.
Sedimentación	: la deposición de las partículas de suelo transportadas por una reducción en la tasa de flujo de aguas en las que estas partículas.



- Sedimento : Materia que esta suspendida en un fluido, en proceso de depositarse en el fondo o depositada.
- Turbulencia : régimen de flujo caracterizado por baja difusión de momento, alta convección y cambios espacio-temporales rápidos de presión y velocidad
- Vegetación acuática sumergida (SAV) : vegetación acuática que no pueden tolerar condiciones de sequía y debido a esto, vivir con sus hojas en o por debajo de la superficie del agua
- Viscosidad : oposición de un fluido a las deformaciones tangenciales
- Zona de Mezcla : Volumen delimitado de agua donde se permite la dilución inicial de una descarga. En la práctica, esto puede ocurrir en el campo cercano o campo lejano de un proceso de mezcla hidrodinámica y por lo tanto depende de la fuente y medio ambiente