



INFORME FINAL

Experiencia internacional en el uso
del DEPOMOD para Acuicultura

SUBPESCA / Mayo 2013



INFORME FINAL

Experiencia internacional en el uso
del DEPOMOD para Acuicultura

SUBPESCA / Mayo 2013

REQUIRENTE

SUBSECRETARÍA DE PESCA Y ACUICULTURA
Subsecretario de Pesca y Acuicultura
Pablo Galilea Carrillo

EJECUTOR

INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO, IFOP

Jefe División Investigación en Acuicultura
Leonardo Guzmán Méndez

Director Ejecutivo
José Luis Blanco García

JEFE PROYECTO

Carolina Oyarzo Rösner

AUTORES

Carolina Oyarzo Rösner
Leonardo Guzmán Méndez
Elías Pinilla Matamala
Hernán Cañón Jones

COOLABORADOR

Gastón Vidal Santana



ÍNDICE GENERAL

	Página
ÍNDICE GENERAL	i
INDICE TABLAS Y ANEXOS	ii
RESUMEN EJECUTIVO	iii
1. ANTECEDENTES	1
2. OBJETIVOS	3
3. METODOLOGÍA	4
4. RESULTADOS	7
5. DISCUSIÓN	27
6. CONCLUSIONES	32
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	34
ANEXOS	
Anexo 1. Listado Asistentes Taller.	
Anexo 2. Programa Taller.	
Anexo 3. Fotos Taller.	
Anexo 4. Presentaciones y literatura asociada a Taller (en CD)	
Anexo 5. Actividad práctica en el uso de DEPOMOD.	
Anexo 6. Carta Gantt Experiencia internacional DEPOMOD.	
Anexo 7. Conclusiones grupales Taller DEPOMOD.	



ÍNDICE TABLAS Y ANEXOS

TABLAS

- Tabla 1.** Principales actores con responsabilidades en el ámbito regulatorio de la Acuicultura en Escocia (Berry y Davison, 2001)
- Tabla 2.** Concentración de Sulfuros y tasas de deposición de carbono (Hargrave *et al.* 2008) 35

ANEXOS

- Anexo 1.** Listado Asistentes Taller.
- Anexo 2.** Programa Taller.
- Anexo 3.** Fotos Taller.
- Anexo 4.** Presentaciones y literatura asociada a Taller.
- Anexo 5.** Actividad práctica en el uso de DEPOMOD.
- Anexo 6.** Carta Gantt Experiencia internacional DEPOMOD.
- Anexo 7.** Conclusiones grupales Taller DEPOMOD.



RESUMEN EJECUTIVO

El objetivo general de este estudio es la “Producción de un taller con expertos en el uso del modelo matemático DEPOMOD, para la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura”.

Para ello se contemplaron dos grandes actividades: 1) evaluar el uso que las autoridades internacionales (Escocia o Canadá) le dan al modelo DEPOMOD y generar los vínculos tanto con las autoridades como con los propietarios del programa, 2) gestionar la realización de un Taller sobre el uso del DEPOMOD con expertos internacionales (Escocia y Canadá).

Para llevar a cabo la primera actividad, un profesional del Instituto de Fomento Pesquero realizó un viaje a Escocia, país desarrollador del programa, con el fin de conocer de primera fuente, las bondades y debilidades del programa, así como la experiencia en la utilización del mismo como instrumento de planificación y regulación en el establecimiento de los límites de la biomasa a producir según etapa de desarrollo. El profesional viajó a Escocia durante la última semana de octubre del 2012, oportunidad en la que se entrevistó con autoridades del ámbito de la investigación, *The Scottish Association for Marine Science (SAMS)*; autoridades regulatorias, *Scottish Environment Protection Agency (SEPA)*; y representantes del sector productivo, *Marine Harvest (Scotland) Ltd.*

En relación a la segunda actividad, se realizó el taller “Experiencia internacional en la Aplicación de DEPOMOD para la Acuicultura” en la ciudad de Viña del Mar, durante la segunda semana de enero del 2013, con la participación de dos expertos internacionales, el Dr. Thom Nickell del SAMS de Escocia, y el Dr. Fred Page de la DFO-Canadá (*Department of Fisheries and Ocean*), ambos con amplia experiencia en temas científico-técnico y de regulación relacionados al DEPOMOD en Acuicultura. Al taller se invitaron profesionales nacionales, entre ellos profesionales de la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura, Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura, Instituto de Fomento Pesquero, empresas consultoras, y expertos nacionales. El último día de taller se incluyó una mesa redonda acerca de las bondades de los modelos, con énfasis acerca del DEPOMOD.

Se resumen a continuación los principales tópicos desarrollados a partir de ambas actividades:

Los efectos de las acciones antropogénicas pueden ser evaluados mediante herramientas diversas, tales como modelos e indicadores ambientales, que permiten evaluar la calidad del ambiente e incluso predecir cambios asociados a dichas actividades. El uso de estos modelos e indicadores permite a los entes gubernamentales planificar y regular las actividades productivas, para lograr una acuicultura sustentable, como también permite a los científicos evaluar la calidad del ambiente en los lugares donde se desarrollan dichas actividades de acuicultura e incluso lograr una mejor comprensión de la estructura y organización de dichos sistemas. En acuicultura, estos modelos predicen la dispersión y aporte de residuos orgánicos desde las jaulas de cultivo y por lo mismo, pueden ser usados como herramientas de gestión para la localización de los sitios más apropiados para el desarrollo de acuicultura y para la evaluación del potencial de enriquecimiento orgánico de los ecosistemas bentónicos.



A menudo se recurren a estas herramientas de carácter ambiental, comparando los niveles de contaminantes con estándares o valores de referencia internacional, sin embargo, no todos se ajustan a las condiciones locales. Debido a lo anterior, la interpretación final del estado real de la calidad ambiental de aquellos sitios, en donde no se haya validado la herramienta a utilizar, se presume errónea. De allí radica la importancia, de evaluar bajo condiciones chilenas, las alternativas de validar y/o adecuar un modelo a nuestra realidad, desarrollar un modelo en particular según nuestros requerimientos, o la combinación de ambas alternativas.

Uno de las herramientas de carácter ambiental es DEPOMOD, un modelo desarrollado por Escocia, que simula la trayectoria de partículas prediciendo la deposición de sólidos (excedentes de alimento y fecas) en el fondo marino alrededor de las balsas jaulas de cultivo de peces, asociando los cambios bentónicos provocados por los aportes de materia orgánica total al medio. Para ello, combina las condiciones geográficas e hidrográficas locales con los volúmenes de compuestos orgánicos totales liberados (material fecal y alimento no consumido), trazando un mapa de acumulación o flujos de sedimentación de residuos en la grilla del fondo marino. El modelo está estructurado por cuatro módulos que se acoplan para estimar las concentraciones de Carbono Orgánico Total (COT) en el fondo. Estos son: a) generación de la grilla (GRIDGEN), b) trayectoria de partículas (PARTRACK) y c) re-suspensión y módulo de respuesta bentónica (RESUS). El cuarto módulo (BENTHIC) conecta los tres primeros, cuantificando la dispersión de los residuos liberados por los centros de cultivo para la estimación de la concentración de carbono orgánico total (COT) en el bentos.

En la actualidad, diversos países han usado el modelo en investigación y/o como una herramienta útil para la regulación y planificación en la industria de la acuicultura, sin embargo sólo Escocia ha validado el modelo en su país, y parte de Canadá, específicamente en British Columbia. La implementación del DEPOMOD en relación al tema regulatorio es diferente en ambos países. Escocia requiere DEPOMOD como una herramienta de selección de sitios, y es obligatoria en el momento de solicitar una concesión de acuicultura, o ampliación de producción de biomasa, con un límite de 2500 toneladas por concesión. Canadá en cambio, lo utiliza como una herramienta de soporte para evaluar el potencial impacto de la acuicultura.

Con respecto a los criterios de evaluación de la calidad ambiental, Escocia se basa en el índice *Infaunal Trophic Index* (IT), mientras que Canadá en la variable Sulfuro. La regulación de ambos países se sustenta en un número reducido de variables ambientales, pero que requieren de un previo conocimiento del entorno en el cual se realizan actividades de acuicultura. Por tanto, ante cualquier intento de aplicar DEPOMOD en Chile, se debe considerar el caracterizar y validar todos los parámetros que están considerados en este modelo, en las áreas en que pretenda ser aplicado, además de escoger los criterios e índices que expliquen de mejor forma el estado ambiental de cada concesión.

La principal aplicación de este modelo, es considerarse una herramienta útil para la regulación y planificación en la industria de la acuicultura. Sus principales virtudes son: el programa se alimenta



con datos que normalmente están disponibles, como datos productivos de la actividad de acuicultura (especie, número de ejemplares, dimensión de las jaulas, tipo de alimento, cantidad de alimento suministrado, entre otros); además de presentar un bajo valor adquisitivo.

Es importante destacar que DEPOMOD es un modelo desarrollado para ser aplicado solamente a escala LOCAL, para sitios con sedimentos blandos y de baja a moderada dispersión, además de flujo laminar. Entre las principales limitaciones identificadas para el modelo se mencionan: la asociación de grandes profundidades y sedimento duro; la no modificación del modelo por parte del usuario, ya que es un software comercial y de código cerrado; la utilización de un nivel del mar constante en el tiempo; un umbral de velocidad de re-suspensión inalterable; y un campo hidrodinámico homogéneo. Para mejorar estas limitaciones, se deben incorporar: la variación del nivel del mar (considerando que en sitios chilenos esta variación es muy amplia), mejorar el módulo de re-suspensión, incluir un modelo hidrodinámico que incorpore la variación espacial de la circulación, además de considerar un modelo de conversión de la tasa de deposición de carbono según la concentración de sulfuro. Todos estos aspectos deben ser considerados y corregidos si se desean mejorar las predicciones de los efectos de la actividad de acuicultura sobre el fondo marino (i.e sedimentos e infauna).



INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO / DIVISIÓN DE INVESTIGACIÓN EN ACUICULTURA



1. ANTECEDENTES

El crecimiento explosivo de las actividades de acuicultura a nivel mundial, y por ende los problemas relacionados con el deterioro de la calidad del medio ambiente, debido a un incremento en la disponibilidad de la materia orgánica en el dominio bentónico, evidencian la necesidad de incorporar criterios oceanográficos y herramientas de modelación para la evaluación del impacto de esta actividad sobre los ecosistemas acuáticos. Dada la complejidad y la heterogeneidad de los sistemas acuáticos en los cuales se desarrollan los cultivos, obliga a disponer de herramientas predictivas que permitan pronosticar efectos de la actividad y sobre cuya base sea posible ordenar y planificar el desarrollo de la acuicultura. Actualmente, derivado de esta circunstancia, países como Noruega, Canadá y Escocia, entre otros, han desarrollado modelos para cuantificar las potenciales cargas de carbono orgánico sobre el fondo marino.

Entre los modelos cuantitativos desarrollados para predecir las cargas de carbono orgánico a escala local, y que incorpora como sustrato la columna de agua y el bentos, además de variables y parámetros productivas del centro de cultivo, se encuentra el DEPOMOD y sus múltiples versiones creadas para situaciones específicas: (1) DEPOMOD fue creado en Escocia (Cromeley *et al.*, 2000) y utilizado ampliamente en Escocia y Canadá, es un modelo que predice los efectos de la deposición de sólidos desde los centros de cultivo al bentos, (2) AUTODEPOMOD creado y utilizado en Escocia, para predecir la máxima biomasa de peces cultivados para un sitio dado y permanecer dentro de los criterios de calidad de la *Scottish Environment Protection Agency* (SEPA), (3) MERAMOD creado por la Unión Europea y utilizado en Turquía para estudiar el impacto del cultivo de la dorada en aspectos como la deposición de partículas, desechos de fecas y alimento producidos por esta actividad y (4) TROPOMOD creado por la Unión Europea y utilizado en Filipinas para evaluar el impacto ambiental de la acuicultura de Tilapia. Tanto el DEPOMOD como sus distintas versiones, son modelos de bajo valor económico y de fácil implementación.

En lo específico al modelo DEPOMOD, éste ha sido desarrollado en Escocia por la "*Scottish Association for Marine Science (SAMS) Dunstaffnage Marine Laboratory en Oban*" (Cromeley *et al.* 2000), y se utiliza actualmente como instrumento regulador en Escocia para autorizaciones de vertido de quimioterapéuticos (SEPA, 2003) y es empleado en las etapas de desarrollo para establecer límites de biomasa (SEPA, 2005). Por otra parte, tiene una distribución de licencias de usuarios en todo el mundo destacándose dentro de Europa (Noruega e Irlanda), Estados Unidos, Canadá, Australia, Chile y Corea del Sur, países que en su mayoría han usado el modelo en investigación y/o herramienta de planificación y ha sido aplicado para realizar estudios de impacto de cultivos del salmón (*Salmo salar*), trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) y mejillones (*Mytilus edulis*) entre otros, prediciendo el impactos de nutrientes, medicamentos y química orgánica.

A diferencia de otros países con actividad acuicultora como Noruega, Escocia o Canadá, Chile no cuenta aún con herramientas oficiales de modelación que sirvan de complemento a la Evaluación Ambiental de Centros de Cultivo, y que permitan tomar decisiones adecuadas y oportunas para cautelar el deterioro del medio marino. Es por ello, que se considera de gran importancia la



ejecución de este proyecto, cuya finalidad es conocer las experiencias internacionales en el uso del DEPOMOD, así como también ver la factibilidad de implementación del programa en realidades distintas a las del país desarrollador del DEPOMOD, tales como especies de cultivo, condiciones de cultivo, ambientales y biológicas, regímenes hidrodinámicos (mareas y regímenes dinámicos), batimetría, tipo de sedimento, entre otras.



2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo General

Producción de un taller con expertos en el uso del modelo matemático DEPOMOD, para la Subsecretaría de Pesca.

2.2. Objetivos Específicos

1. Evaluar el uso que las autoridades internacionales (Escocia o Canadá) le dan al modelo DEPOMOD y generar los vínculos tanto con las autoridades como con los propietarios del programa.
2. Gestionar la realización de un Taller sobre el uso del DEPOMOD con expertos internacionales (Escocia o Canadá).
3. Generar y editar un documento que recopile las principales actividades desarrolladas, conclusiones y logros obtenidos en ellas.



3. METODOLOGÍA

La presentación de la metodología se organiza por objetivo específico, detallando cada actividad asociada a cada uno de ellos:

Objetivo específico 1. Evaluar el uso que las autoridades internacionales (Escocia o Canadá) le dan al modelo DEPOMOD y generar los vínculos tanto con las autoridades como con los propietarios del programa.

Viaje Profesional IFOP a Escocia

El desarrollo de esta actividad, contemplada dentro de las acciones programadas del proyecto, estuvo orientado a evaluar el uso que las autoridades de Escocia le dan al modelo DEPOMOD además de generar vínculos tanto con las autoridades como con los desarrolladores del programa, como también con empresas acuicultoras que hacen uso del programa. La intención era conocer de primera fuente, las bondades y debilidades del programa, así como la experiencia en la utilización del mismo como instrumento de planificación en la autorización de vertidos quimioterapéuticos (SEPA, 2003) y en el establecimiento de los límites de la biomasa a producir según etapa de desarrollo (SEPA, 2005).

Para este efecto se planificó la visita del Dr. Hernán Cañón Jones, Investigador del IFOP, la cual fue realizada entre el 20 y 28 de octubre del 2012 (ANEXO 6. Carta Gantt), oportunidad en la que se entrevistó con autoridades de *The Scottish Association for Marine Science* (SAMS) y *Scottish Environment Protection Agency* (SEPA), y representantes de Marine Harvest (Scotland) Ltd.

Las entrevistas realizadas por el investigador IFOP fueron semi-estructuradas, y los puntos a tratar fueron dirigidos según el ámbito de acción de cada actor entrevistado, actores pertenecientes al sector productivo (Marine Harvest Scotland), regulatorio (SEPA) y de la investigación (SAMS). Por tanto, para el sector productivo, la entrevista estuvo orientada a conocer su experiencia en la aplicabilidad del modelo; en el caso de los entrevistados relacionados al ámbito de la investigación, la entrevista iba direccionada a la experiencia obtenida en el desarrollo de la aplicación del modelo a nivel técnico; mientras que para el sector regulatorio, se consideró relevante el marco normativo en que se ha desarrollado la aplicación del DEPOMOD para la gestión y evaluación gubernamental de la industria, el desarrollo futuro del modelo, así como la evaluación de la efectividad del modelo como herramienta de predicción de los efectos de la acuicultura.



Objetivo específico 2. Gestionar la realización de un Taller sobre el uso del DEPOMOD con expertos internacionales (Escocia o Canadá).

En conjunto con la Subsecretaría de Pesca, se identificaron los dos expertos internacionales para que participaran en un taller que finalmente se realizó en el Hotel Marina del Rey en Viña del Mar, durante los días lunes 7 y viernes 11 de enero del 2013 (ANEXO 6. Carta Gantt). Los expertos internacionales fueron el Dr. Thom Nickell del SAMS de Escocia, y el Dr. Fred Page de la DFO-Canadá.

El Dr. Thom Nickell, investigador científico del *The Scottish Association for Marine Science (SAMS)*, miembro del Departamento de Ecología, posee una amplia trayectoria asociada a: impactos costeros y mapeos marinos, gradientes ecológicos, efectos ecológicos de medicamentos sobre *Caligus*, capacidad de carga en moluscos, capacidad de carga en cuerpos de agua para acuicultura, desarrollo de modelos, y validación de modelos para predecir material orgánico desde cultivos de bacalao, tilapia, entre otras especies marinas, y su impacto ambiental asociado. El Dr. Nickell ha sido uno de los creadores del programa DEPOMOD, así como también ha desarrollado otros modelos como el MERAMED en especies del mediterráneo, como son *Sparus aurata* L. y *Dicentrarchus labrax*, además del modelo CODMOD en la especie *Gadus morhua* en Shetland, y el TROPOMOD en Filipinas con la especie *Chanos chanos*.

El Dr. Fred Page, Jefe del *Coastal Ocean Research Section*, y Director del *Centre for Integrated Aquaculture Science*, de la DFO de Canadá, posee gran experiencia en áreas relacionadas a: oceanografía costera, particularmente desde la perspectiva de la interacción física-biológica y sus aplicaciones en la pesquería, acuicultura y manejo de ambientes costeros. En la actualidad desarrolla proyectos de investigación relacionados a: modelos de circulación de aguas, transporte y procesos de dispersión a escala conservativa y no conservativa, análisis estadísticos espaciales y temporales y patrones de abundancia de organismos acuáticos, indicadores medioambientales y estructuras biológicas de comunidades, y análisis de condiciones ambientales.

En relación a los programas que actualmente está ejecutando se encuentran los programas de muestreos y análisis hidrográficos y toma de datos biológicos de niveles tróficos, circulación de aguas y modelos de dispersión de partículas. El objetivo de estos estudios de investigación y programas se enfoca en el apoyo a la toma de decisiones relacionadas a la acuicultura, pesca y manejo costero.

- i. Al taller se invitaron profesionales nacionales, entre ellos profesionales de la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura, Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura, Instituto de Fomento Pesquero, empresas consultoras, y expertos nacionales (Anexo 1. Listado asistentes). Según lo acordado en las reuniones de coordinación entre el IFOP y SUBPESCA, el taller se dividió en dos módulos: el primer módulo consistió en la familiarización del software en forma teórica y práctica durante 3 días, considerando sólo profesionales del IFOP, SUBPESCA y SERNAPESCA, y a cargo del Dr. Thom Nickell. En este módulo se realizó una demostración práctica sobre el uso del software a cargo de profesionales de



SUBPESCA y con el apoyo del Dr. Thom Nickell. En el segundo módulo del taller, que estuvo a cargo del Dr. Fred Page, se evaluó la potencialidad del DEPOMOD como herramienta de planificación en relación al impacto ambiental provocado por la acuicultura, con la participación de expertos y empresas nacionales con uso frecuente del programa (Anexo 2. Programa Taller).

Finalmente, durante la tarde del último día de taller, se efectuó una mesa redonda tendiente a bosquejar las principales conclusiones derivadas del trabajo realizado, incluyendo las potencialidades de estas herramientas para una acuicultura sostenida en Chile.

Objetivo específico 3. Generar y editar un documento que recopile las principales actividades desarrolladas, conclusiones y logros obtenidos en ellas.

Al finalizar el taller se confeccionó un documento editado en formato digital y formato papel (i.e. este informe), el cual incluye todas las actividades realizadas para el logro de los objetivos establecidos en los términos técnicos de referencia elaborados por la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura, además de los aspectos incorporados en la propuesta técnica presentada por el Instituto de Fomento Pesquero. En síntesis se incluyen las entrevistas realizadas por el profesional del IFOP a entidades gubernamentales, científicas y productivas en Escocia, así como los principales elementos discutidos durante el desarrollo del taller efectuado en Viña del Mar.



4. RESULTADOS

La presentación de este capítulo se organiza por objetivo específico.

Objetivo específico 1. Evaluar el uso que las autoridades internacionales (Escocia o Canadá) le dan al modelo DEPOMOD y generar los vínculos tanto con las autoridades como con los propietarios del programa.

A continuación se detalla una síntesis de los principales tópicos considerados en cada entrevista, realizada por el profesional IFOP en Escocia:

1.1 Entrevista al Dr. Douglas Sinclair (SEPA), Edimburgo, martes 23 de Octubre 2012

La protección del ambiente acuático, producto de operaciones de acuicultura en Escocia, está normado por el gobierno local a través de SEPA. Escocia, al ser parte de la Unión Europea, se rige a través de las diferentes regulaciones y directivas de la Unión. En lo fundamental, la normativa es muy estricta, y para aprobar nuevas concesiones de acuicultura, la calidad de las aguas debe permanecer en las condiciones que tenía previo a la operación de acuicultura. En lo específico, las regulaciones al igual que en Chile, se refieren a la protección del medio acuático por descargas propias de la operación humana y animal (impacto por adición de material). Adicionalmente, las regulaciones protegen las aguas del impacto por sustracción (diques, extracción de agua para agricultura y fabricación de whiskeys).

Antes de 2005 (fecha de implementación de DEPOMOD), SEPA autorizaba la operación de las concesiones de acuicultura a través de una matriz de toma de decisiones y se autorizaba como límite máximo de producción 1000 ton de biomasa por ciclo productivo. Las muestras ambientales a tomar eran del fondo marino y columna de agua, específicamente en el área donde se deseaba colocar la concesión y alrededor de 25 metros de ésta.

Sin embargo, debido, entre otros, a presiones del sector productor por aumentar la biomasa crítica, las dificultades para predecir la distribución espacial de medicamentos en el fondo marino (Slice) y por la falta de buenos modelos predictivos, es que SEPA decidió implementar el DEPOMOD en conjunto con SAMS.

Actualmente, la entrega de la simulación con DEPOMOD es obligatoria y parte fundamental de las aplicaciones para otorgar nuevas concesiones. Adicionalmente, cualquier centro de producción (con la nueva o antigua normativa) que desee cambiar la biomasa de producción otorgada debe entregar nuevamente la información de DEPOMOD.

Desde un punto de vista del desarrollo del modelo propiamente tal, lo más complejo fue definir los parámetros que debían ser considerados en el modelo. Para ello, se realizaron reuniones con



expertos de SAMS e industria y se definieron aquellos que se consideraron los más representativos. Es importante señalar que el factor más importante en un inicio fue la presión por modelar espacio-temporalmente las partículas de medicamento antiparasitario (Slice), lo que finalmente se tradujo en su incorporación en el módulo In-feed de DEPOMOD.

Actualmente, DEPOMOD predice bien el comportamiento de los excedentes de alimentos y fecas en el 80% de las concesiones, las cuales tienen diferentes características hidrográficas. El modelo ha sido validado en concesiones con profundidades de hasta 110 m y alta corriente, como también en concesiones otorgadas en sectores con profundidades inferiores a 60 metros y corrientes menos intensas. Sin embargo, al existir un 20% de las concesiones en las cuales DEPOMOD no modela bien, es que SEPA contrató un proyecto de investigación que será realizado por SAMS. Este proyecto contempla la modificación y expansión de DEPOMOD para más ambientes y condiciones (velocidad de agua y profundidad mayor a 110 m).

Desde un punto de vista de conformación de equipos de trabajo, SEPA tiene 7 oficinas. En cada oficina existen 2 a 3 profesionales que manejan DEPOMOD a nivel de usuario. Ellos están encargados de recibir la información entregada por la empresa, implementar el modelo, e interpretar los resultados, y permitir la apertura de la concesión. Los profesionales de SEPA no son los encargados de tomar muestras o recabar la información en terreno. Los antecedentes son presentados por la empresa o por un consultor acreditado por SEPA a través de la empresa. La forma de operar es que la empresa/consultor presenta la información necesaria para la solicitud de concesión y los datos utilizados en su simulación por el DEPOMOD, previo a la aplicación oficial. Los profesionales de SEPA toman estos datos, utilizan el modelo, chequean que la información y metodología esté correcta y se los devuelven a la empresa, lo cual se aplica para la apertura de la concesión. Luego, al final del ciclo productivo (2 años en Escocia) la empresa declara si va a seguir el próximo ciclo con la misma biomasa. Si es así, no necesita hacer un nuevo estudio, ya que la autorización fue otorgada en forma indefinida para ese nivel de producción. Si la empresa desea aumentar su biomasa, entonces debe hacer un nuevo estudio aplicando DEPOMOD. Esta aplicación a nuevas concesiones o modificación a concesiones asociadas al uso de DEPOMOD se puede realizar en cualquiera de las oficinas de SEPA en Escocia. La información se maneja a nivel local y se reporta hacia el nivel central, con la subsiguiente generación de bases de datos de información. No existe una fiscalización continua por parte de personal de SEPA. Esta fiscalización recae en consultores acreditados y aprobados por SEPA para hacer el monitoreo anual.

En relación a las estaciones de muestreo y posterior alimentación del modelo, se solicita como requisito realizar muestreos ambientales (correntometría, batimetría, índice bentónico, etc.) al lado de las balsas jaulas, además de 2 puntos de muestreo: 10 metros a favor y en contra de la corriente en relación a las jaulas.

La decisión de aprobar el funcionamiento de una concesión para salmonicultura está basada principalmente en el índice "Infaunal Trophic Index" (ITI), el cual debe ser mayor a 30. Valores menores de este índice determinan que la concesión no sea otorgada. Adicionalmente, al finalizar el ciclo productivo deben hacerse muestreos de fondo marino (por consultores autorizados) y si este



índice es igual o menor a 30, SEPA solicita una disminución de la biomasa para el próximo ciclo y si el índice es muy bajo (<10) se suspende un ciclo productivo. En síntesis, el modelo se aplica al iniciar la solicitud de concesión para disponer, entre otros, del despliegue de las isolíneas de los valores de ITI, los cual se debe realizar cada vez que se decida aumentar o disminuir la biomasa.

Desde el punto de vista de la doctrina de SEPA y las reacciones del ámbito privado al implementar DEPOMOD, es importante señalar que su implementación correspondió a un esfuerzo conjunto. En el desarrollo e implementación del modelo, la industria colaboró estrechamente, además de calificarlo como una buena herramienta medioambiental.

Adicionalmente, DEPOMOD ha sido utilizado para ver el impacto de la operación sobre zonas protegidas o aguas de parques nacionales.

Es importante señalar que SEPA pretende cambiar el modelamiento de DEPOMOD basado en biomasa a uno sustentado en la cantidad de alimento entregado. Esto será implementado a partir del año 2015 y a través del proyecto actual con SAMS. La razón es obvia, toda vez que es justamente el alimento el que debe ser modelado en razón de la biomasa.

Finalmente, el Dr. Sinclair manifestó que el uso de DEPOMOD tuvo y tiene un fuerte impacto y beneficios económicos y ambientales que han ayudado a la sustentabilidad del sector. Se pudo incrementar la autorización de operaciones con mayores biomosas (hasta 2500 ton) en condiciones validadas por DEPOMOD y más extremas. DEPOMOD ha demostrado modelar y predecir adecuadamente el impacto ambiental en todas estas condiciones productivas, manteniendo y cumpliendo las estrictas regulaciones comunitarias, favoreciendo la protección y sustentabilidad ambiental.

1.2 Entrevista al Sr. Chris Read de Marine Harvest Scotland, Fort William, 24 de octubre 2012

Desde un inicio, Marine Harvest Scotland, estuvo interesada en la aplicación de herramientas objetivas y útiles que le permitieran aumentar la producción con un menor impacto ambiental. Así, se realizó un trabajo en conjunto con SEPA y SAMS, donde contribuyeron dando la opinión del sector durante el desarrollo y la implementación del modelo.

Es importante señalar que MH Scotland es una empresa particular, y que cuenta con su propio departamento de medioambiente y no necesitan externalizar ningún servicio asociado al DEPOMOD (simulación, toma de muestras, etc.).

La respuesta a la introducción de DEPOMOD fue buena y la adoptaron sin problemas y les ha servido para optimizar la producción, seleccionando sitios donde se puede producir mayor biomasa. A su vez, en los centros más antiguos ha permitido adaptar la producción (biomasa) en relación a la máxima capacidad ambiental.



La empresa tiene 5 personas encargadas de entregar la información necesaria para modelar y usar DEPOMOD. Utilizan AutoDEPOMOD de forma habitual a nivel de usuario y son ellos mismos los que entregan la información a SEPA para nuevos centros de producción como también para modificaciones de otras concesiones.

La principal ventaja que la empresa visualiza es que con los datos de correntometría y batimetría se puede estimar y colocar las jaulas de las dimensiones que se deseen y ajustar la producción a la realidad del sitio.

La desventaja que describe la empresa es que el modelo, ya sea AutoDEPOMOD o DEPOMOD, predice más allá del límite de biomasa autorizada (2500 toneladas) pero SEPA no lo acepta. Según la compañía, no existen razones técnicas para esa decisión. De hecho, ellos han ubicado sitios donde las condiciones permitirían producir hasta 4000 ton sin producir un detrimento según lo predicho por DEPOMOD.

La empresa utiliza el modelo AutoDEPOMOD por la facilidad de manejar los datos y por la ventaja de integrar los 4 módulos del modelo en uno solo.

En relación a las características de los centros en Escocia, es importante señalar que la información que se entrega es sólo para centros de Marine Harvest y no para Escocia. La mayoría de los centros tienen 40 m de profundidad pero la tendencia es a cultivar a mayores profundidades, siendo los más profundos de 100 metros. El tipo de sedimento depende de cada centro pero generalmente es altamente orgánico. La temperatura del agua en los centros varía entre 8 a 10 grados Celsius. La política de la empresa fija como límite la selección de centros, aquellos sitios que tengan una velocidad de fondo menor a 10 ms^{-1} , límite que es solicitado por SEPA.

1.3 Entrevista al Dr. Thom Nickell (SAMS), Oban, 25 de Octubre 2012

Desde un punto de vista del desarrollo propiamente tal, lo más complejo fue definir los parámetros que debían ser considerados en el modelo. Para ello, se realizaron reuniones con expertos de SAMS e industria y se definieron aquellos que fueran más representativos. La obtención de los datos para la simulación del modelo se realizó en diferentes ambientes marinos en Escocia, y bajo diferentes condiciones (fecas, alimentos, calidad de agua y sedimento).

DEPOMOD predice bien el 80% de las concesiones, incluyendo en el proceso de validación de sitios con diferentes características hidrográficas. El modelo ha sido validado en concesiones con profundidades de hasta 110 m. Sin embargo, el 20% que no modela bien es en condiciones de alta profundidad (profundidades mayores a 110 m), en fondos rocosos y poco material sedimentario. Se considera que las velocidades del agua o corrientes altas no son un problema, ya que éstas dispersan de buena manera el alimento/feca sin producir daños. Actualmente, se está iniciando un proyecto de investigación que reprogramará el modelo para zonas con estas características y compatibilidad con otras plataformas (versiones de MS Office). Por otro lado, este proyecto



contempla incorporar un modelo hidrográfico especialmente para el caso de concesiones grandes (producción mayor a 2500 ton). Señala adicionalmente, que DEPOMOD y AutoDEPOMOD está en fase de desarrollo final, toda vez que se va a revisar con el nuevo proyecto con SEPA y no ve que se vaya a desarrollar mas como tal, sino que se creará una versión modificada y distinta a la actual.

El uso de DEPOMOD ha tenido un fuerte impacto, en relación a beneficios económicos y ambientales, que han ayudado a la sustentabilidad del sector salmonero, considerándose su implementación como una herramienta “democrática” y transparente para todos los sectores involucrados. Además, la implementación de este modelo ha servido a los productores para darle un valor agregado a los productos generados (protección del medio ambiente donde se produce y las comunidades locales).

Un punto crítico que visualiza el Dr. Nickell, es que a pesar que el DEPOMOD entregue una biomasa mayor a 2500 ton en relación a la capacidad de carga del sitio, la autoridad (SEPA) no arriesga autorizar sobrepasar el límite de producción, que en la actualidad son 2500 toneladas. Según el Dr. Nickell, se debe a que dentro de la aplicación de la concesión se debe mostrar la información del In-feed para Emamectina en DEPOMOD, y biomazas mayores a 2500 invalida cualquier concesión.

DEPOMOD no necesita una transferencia tecnológica como tal. Su aplicación es directa y sólo se necesita de una lectura extensa e intensa de la bibliografía relacionada para su uso. No visualiza problema para su uso en Chile, ya que el programa permite modificar todas las variables que se manejan en Chile. Se hizo hincapié que DEPOMOD no limita la producción, sino más bien la modela a una correcta capacidad con el fin de no generar daño ambiental.

Hace hincapié, que es el único modelo de dispersión de partículas que ha sido validado por científicos a nivel internacional, mientras que otros modelos, como el MOM por ejemplo de Noruega, son modelos que solamente se han publicado en revistas científicas y no han sido validados aún.

1.4 Entrevista al Dr. Kenneth Black (SAMS), Oban, 26 de Octubre 2012

Según el Dr. Black, el DEPOMOD ha sido utilizado en forma exitosa en sitios con profundidades mayores de 60 metros. El principal problema, y que será revisado y controlado en el nuevo proyecto por parte de SEPA, es la asociación de profundidad y sedimento duro (bloques y cantos grandes). No son un problema las velocidades altas de las corrientes, ya que éstas dispersan suficientemente bien el alimento/feca sin producir daños.

El Dr. Black sugiere que para el caso de Chile, donde no se ha implementado modelo alguno y donde potencialmente éste indicaría una disminución en la producción por parte de las empresas, que el paso a seguir es realizar un proyecto financiado por el Estado que podría ser realizado por IFOP o bien otro con financiamiento conjunto entre el Estado y Empresas, que también podría ser abordado por IFOP, con la finalidad de probar el modelo DEPOMOD.



Objetivo específico 2. Gestionar la realización de un Taller sobre el uso del DEPOMOD con expertos internacionales (Escocia o Canadá).

Se describen a continuación los principales tópicos desarrollados en ambos módulos del taller (en el ANEXO 4 se adjuntan las presentaciones y bibliografías asociadas a los temas desarrollados):

MÓDULO 1. Modelación de los efectos ambientales derivados de las operaciones acuícolas marinas, a través del DEPOMOD, y la familiarización en el uso del Software.

1.1 Descripción del modelo DEPOMOD

DEPOMOD es un modelo de trayectoria de partículas que predice la deposición de sólidos en el fondo marino alrededor de las balsas jaulas de cultivo de peces, asociando los cambios bentónicos provocados por los aportes de materia orgánica total al medio. Para ello, combina las condiciones geográficas e hidrográficas locales con los volúmenes de compuestos orgánicos totales liberados (material fecal y alimento no consumido), trazando un mapa de acumulación o flujos de sedimentación de residuos en la grilla del fondo marino. El modelo está estructurado básicamente en cuatro componentes o módulos que se acoplan para estimar las concentraciones de Carbono Orgánico Total (COT) en el fondo. Estos módulos son: generación de la grilla (GRIDGEN), trayectoria de partículas (PARTRACK), re-suspensión y módulo de respuesta bentónica (RESUS). El cuarto módulo (BENTHIC) conecta los tres primeros módulos, cuantificando la dispersión de los residuos liberados por los centros de cultivo para la estimación de la concentración de carbono orgánico total (COT) en el bentos (Cromey *et al.*, 2002). Estos módulos por su parte, requieren información independiente y aunque se comportan como modelos distintos, forman parte de un solo modelo.

A continuación se presentan las principales características de los tres primeros módulos que conforman el DEPOMOD:

1) Módulo Generación de la Grilla (Grid Generation module): este módulo permite incorporar y ajustar la información de profundidad que corresponde a la batimetría del sector (“major grid”, grilla principal), posición de balsas jaulas, posiciones de muestreo (trampas de sedimento), como así también ajustar el área que se desea estudiar con mayor detalle (“minor grid”, grilla secundaria). La información ingresada y ajustada en este módulo, es utilizada en los pasos sucesivos de la simulación, específicamente en los módulos de trayectoria y re-suspensión.

2) Módulo Trayectoria de Partículas (Particle tracking module): describe básicamente el camino que recorre cada una de las partículas en la columna de agua hasta que éstas llegan al fondo. Para ello, requiere de información hidrodinámica del sector y la cantidad de residuos que se liberan desde el centro de cultivo (alimento no consumido y fecas). Las trayectorias del alimento y fecas que se desplazan por la columna de agua, se rigen principalmente por los efectos que



producen las corrientes marinas del sector. Se supone que del total de alimento para peces ingresado a la jaula, existe una cantidad de residuos de fabricaci3n, la que puede expresarse como un porcentaje de la raci3n diaria, as3 mismo, incorpora el supuesto que existe una cantidad de agua en la raci3n y que tambi3n puede expresarse como un porcentaje. Dado que las unidades de concentraciones finales en el fondo marino estar3n medidas en concentraci3n de Carbono Org3nico Total (COT), ambas proporciones no intervienen en el modelo una vez que son descontadas de la raci3n.

3) M3dulo Re-suspensi3n de Part3culas (Resuspension module): las corrientes de fondo determinan que ciertas part3culas se re-suspendan y se eleven hasta una cierta altura con respecto al fondo marino, y que luego de un tiempo adopten nuevas posiciones o coordenadas en el fondo. Una vez que las part3culas han tomado su nueva posici3n tienden a consolidarse en este nuevo lugar, siempre y cuando no sean re-suspendidas nuevamente. El modelo realiza la simulaci3n de este fen3meno en el fondo, y una vez calculadas las nuevas posiciones de las part3culas, se representan las concentraciones y posiciones finales de los s3lidos en la grilla batim3trica generada en el primer m3dulo. Se ha descrito un rango cr3tico para umbrales de velocidades de re-suspensi3n en diversos modelos relacionados a los desechos de la acuicultura. En el caso de DEPOMOD, Cromey y Black (2005) describen que la velocidad cr3tica de re-suspensi3n es de 9.5 cm s^{-1} y no puede ser cambiada por el usuario.

Para alimentar el modelo DEPOMOD se requieren matrices de datos y variables de entrada, seg3n se detallan a continuaci3n:

- i) **Oceanogr3ficas:** direcci3n y velocidad de las corrientes para distintas capas, altura de la marea, y determinaci3n del n3mero de capas a modelar (con un m3ximo de 5 capas).
- ii) **Geogr3ficas:** batimetr3a del 3rea de estudio y coordenadas geogr3ficas del tren de jaulas.
- iii) **Productivas:** especie cultivada, factor de Conversi3n (FCR), alimento entregado, tipo de entrega de alimento (equivale al n3mero de raciones diarias, raciones constantes, etc.), porcentaje estimado de p3rdida de alimento, caracter3sticas del Pellet de alimento entregado (Tama3o y Di3metro), velocidad de Sedimentaci3n o Hundimiento, cantidad de agua en el alimento proporcionado, digestibilidad de la especie (determinado a trav3s de bibliograf3a) y tipo, dimensi3n, y n3mero de jaulas.

En la actividad de demostraci3n del uso del software, se analiz3 en forma pr3ctica cada uno de los m3dulos descritos anteriormente, lo que se adjunta en el ANEXO 5.

1.2 Regulaci3n de la Acuicultura en Escocia

La legislaci3n vigente en relaci3n a la acuicultura en Escocia, luego de diversas modificaciones en el a3o 2006, indica que se transfiere a la autoridad local la responsabilidad de determinar si requieren una Evaluaci3n de Impacto Ambiental (*Environmental Impact Assessment*), funci3n que antes



cumplía La Corona de Estado (Tabla 1). La Corona de Estado sigue concediendo arriendos de concesiones y recauda el valor de arriendo como el propietario.

El cultivo de salmones es regulado y monitoreado a través de un sistema dual, basado en monitoreos dependientes de los cultivadores y procesos de auditorías. Todos los acuicultores deben pedir las concesiones para actividades de acuicultura en aguas escocesas a la Corona de Estado, y solicitar al SEPA un “Consentimiento de Descargas”, además deben registrarse en el “*Fisheries Research Services*”, a lo menos dos meses antes de comenzar con el cultivo. Básicamente, la corona de Estado regula la logística e infraestructura de los cultivos, por ejemplo sitios de anclaje, rutas de navegación, y SEPA regula y monitorea el bentos y la columna de agua en la zona de impactos del sitio de cultivo, previamente definidos (Tabla 1).

El “Consentimiento de descargas” que otorga el SEPA, fija las condiciones y restricciones de los sitios de cultivo con el fin de promover un balance entre el sitio productivo y los impactos ambientales, tales como por ejemplo cantidad y posición de las jaulas, especies a cultivar y biomasa límite en relación a la capacidad de carga del sitio.

En Escocia, no existe una zonificación formal para el cultivo de peces, sin embargo el gobierno se rige por una guía local que delimita las zonas costeras de acuerdo a la conveniencia de desarrollo según la base de modelos de nutrientes y evaluación biológica de los hábitat.

En relación al uso del DEPOMOD en la acuicultura escocesa, antes de la fecha de implementación del DEPOMOD, es decir el 2005, SEPA autorizaba la operación de las concesiones de acuicultura a través de una matriz de toma de decisiones y tenían como límite máximo de producción 1000 toneladas de biomasa por concesión. Para solicitar una concesión se tomaban muestras ambientales típicas (correntometría, batimetría, bentos, y nutrientes en la columna de agua) en el área donde se deseaba colocar la concesión y alrededor de 25 metros de ésta. Sin embargo, debido a presiones por aumentar la biomasa crítica, predecir la distribución espacial de medicamentos en el fondo marino (Slice) y por la falta de buenos modelos predictivos, es que SEPA decidió implementar el DEPOMOD en conjunto con SAMS.

Actualmente, la entrega de la simulación con DEPOMOD es obligatoria y parte fundamental de las aplicaciones para nuevas concesiones. Adicionalmente, cualquier centro de producción (con la nueva o antigua normativa) que deseen cambiar su biomasa a producir debe entregar nuevamente la información de DEPOMOD.

La decisión de aprobar la concesión para su funcionamiento está basada principalmente en el índice “*Infaunal Trophic Index*” (ITI), el cual debe presentar un valor mayor a 30 para aprobar la otorgación de la concesión. Valores menores de este índice determinan que la concesión no sea aprobada. Adicionalmente, al finalizar el ciclo productivo deben hacerse muestreos de fondo marino, y si este índice es igual o menor a 30, SEPA solicita una disminución de biomasa para el próximo ciclo o si el índice es muy bajo (<10) se suspende un ciclo productivo. El ITI, se basa en la descripción de los grupos tróficos, los que se describen en 4 grandes grupos (I= Alimentadores en suspensión, II= Alimentadores detritívoros de superficie, III= Alimentadores depósitos de superficie, y IV=



Alimentadores dep3sitos sub-superficie). Cuando el valor del ITI es mayor a 50, se indica que existe poco efecto de la materia org3nica sobre el sitio, entre 20 y 50 el sitio se encuentra enriquecido, y <20 sitio degradado. Para usar el 3ndice ITI, una de sus limitantes es que se requiere por muestra un n3mero de especies \geq a 5, adem3s del an3lisis de a lo menos el 80% de las especies por cada muestra.

Tabla 1.
Principales actores con responsabilidades en el 3mbito regulatorio de la Acuicultura en Escocia (Berry y Davison, 2001).

Actor relevante en la regulaci3n Acu3cola	Responsabilidades
Corona Estatal	Dueños del territorio mar3timo y regulan la industria de la acuicultura a trav3s del otorgamiento de concesiones para acuicultura. En la actualidad, el control del desarrollo y planificaci3n de la acuicultura se ha transferido desde La corona Estatal a Autoridades de desarrollo local. El EIA (<i>Environmental Impact Assessment</i>) es una exigencia para el otorgamiento de una conces3n de acuicultura, conforme a la Evaluaci3n de Impacto Medioambiental, seg3n Regulaciones de 1999.
<i>Scottish Environment Protection Agency (SEPA)</i>	Es una agencia gubernamental responsable de resguardar el impacto en zonas mar3timas, estuarinas y aguas continentales, y la protecci3n de la flora y fauna en dichas zonas. SEPA regula la industria de la acuicultura a trav3s de Regulaciones del año 2005, que indican los l3mites de descarga de ciertas actividades controladas en el agua. La autorizaci3n de descarga entregada por el SEPA permite a cultivadores de peces, descargar ciertos l3mites de material org3nico e inorg3nico, y qu3micos, sujeto al cumplimiento de los Est3ndares de Calidad Ambiental (<i>Environmental Quality Standards (EQS)</i>). En el caso de uso de f3rmacos, SEPA modela la descarga con el m3dulo <i>Particle Tracking</i> del DEPOMOD, y fija su m3xima descarga de acuerdo al EQS (SEPA, 2005).
<i>Scottish Natural Heritage (SNH)</i>	Responsable de la conservaci3n del ambiente natural de Escocia y est3 a cargo de entregar informaci3n sobre EIA a la Corona Estatal, y de descargas al SEPA.
Autoridades Locales	Cumplen la funci3n de advertir a la Corona Estatal sobre las condiciones de arriendo u otorgamiento de concesiones, y ha desplazado a la Corona Estatal como la autoridad planificadora en relaci3n al otorgamiento de Concesiones de Acuicultura.
<i>Scottish Executive Environment Directorate</i>	A cargo de la protecci3n de peces, pesquer3as y del entorno mar3timo. Todos los Acuicultores deben registrarse para el control de enfermedades en peces.



1.3 Aplicaciones y limitaciones del modelo

La principal aplicación de este modelo, es considerarse una herramienta útil para la regulación y planificación en la industria de la acuicultura. Su principal virtud es que el programa se alimenta con datos que normalmente están disponibles, como datos productivos de la actividad de acuicultura (especie, número de ejemplares, dimensión de las jaulas, tipo de alimento, cantidad de alimento suministrado, entre otros).

El potencial uso del modelo como herramienta en la regulación y manejo de la Acuicultura puede enfocarse a las siguientes áreas (Henderson *et al.*, 2001), como: i) indicadores o señales de advertencia, para adaptar estrategias de mitigación o disminución de la productividad acuícola, ii) descriptores para entender los procesos físicos involucrados (como el asentamiento de materia orgánica alrededor de las jaulas de peces), iii) una herramienta para que todos los sectores logren mejores prácticas dentro del proceso de desarrollo de la acuicultura y su Reglamento, iv) una alternativa rentable para diferenciar los impactos antropogénicos de las variaciones que ocurren naturalmente, y v) un medio para obtener predicciones rápidas de posibles impactos en diferentes escenarios de la acuicultura.

Entre las limitaciones, se discute en el transcurso del taller, la importancia de considerar que para la validación del modelo, se han utilizado las técnicas de cultivo y estudios de impacto específicamente en el salmón atlántico (*Salmo salar*). Estos estudios se han realizado particularmente en fiordos de Escocia, y el modelo en cuestión, en consecuencia, se ha validado y calibrado para especies en esos lugares y condiciones, presentando una limitada aplicación en otros lugares del mundo.

Chamberlain *et al.* (2005) discuten que el suponer un campo de velocidad horizontal espacialmente homogéneo, potencia una fuente de error en las predicciones del modelo. En un escenario hipotético donde se encuentran balsas jaulas con aguas abiertas, un entorno con una batimetría relativamente plana y costa recta, habrá un flujo homogéneo alrededor del dominio del modelo que puede reflejar con precisión las reales condiciones. Sin embargo, una línea de costa y batimetría más compleja, podría entregar estimaciones falsas. Un factor adicional potencialmente complicado con respecto a la corriente hidrográfica es la atenuación del flujo natural o efecto de sombreado, causado por la estructura física de las balsas jaulas, que no es considerado en el modelo. El tamaño y orientación de las jaulas y la proximidad del correntómetro a las jaulas, también podría influir en el desempeño del modelo. La obstrucción del flujo de las jaulas genera flujos secundarios alrededor y bajo las balsas que pueden diferir significativamente de las medidas del campo de flujo principal. Investigaciones preliminares cuantifican este efecto y sugieren reducciones en la velocidad actual de hasta 20% (N. Hartstein, pers comm, en Henderson *et al.*, (2001)).

El movimiento de las jaulas ocasionado por los vientos y las corrientes también puede ser un factor importante en los resultados de materia orgánica obtenidos, por lo que el diseño de muestreo de estas variables debe ser estratégico. Cromey & Black (2005), evaluaron el efecto de movimiento de jaula en DEPOMOD y encontraron una baja correlación entre la dirección de la corriente y el movimiento de la jaula, concluyendo que los grupos de jaula eran movidas principalmente por el viento durante todo el período de muestreo.



Por otra parte, DEPOMOD fue adecuado para sitios con sedimento blando y de baja a moderada dispersión, por lo que se requieren pruebas adicionales para las zonas de sedimentos duros y de mayor dispersión (ECASA.org.uk, 2008).

1.4 Estado de desarrollo de Investigación en el mejoramiento del modelo

Tal como ya se ha indicado anteriormente, el DEPOMOD predice bien las cargas orgánicas provenientes de sitios con acuicultura, en lugares para los que se desarrolló el modelo. Es decir, lugares someros con presencia de sedimentos blandos, y flujo laminar. Se considera que la profundidad no es un factor crítico en la predicción por sí solo, sino más bien la combinación de factores como la profundidad y fondos marinos duros. Es por ello, que el SEPA en conjunto con el SAMS, están desarrollando un proyecto que permita predecir de buena manera las cargas orgánicas en sitios con estas características, mediante el desarrollo e implementación de un modelo hidrodinámico, y que permita modelar zonas a una mayor cobertura de área. Se recalca que el modelo DEPOMOD, fue diseñado para predecir las cargas orgánicas a nivel local. Por otro lado, Escocia está considerando incluir la variable de sulfuro en sedimento para la caracterización ambiental del sitio. En tanto, Canadá también está considerando la inclusión de un modelo hidrodinámico, así como la validación del DEPOMOD en un mayor número de sitios con permanente desarrollo acuícola.

MÓDULO 2. Estándares de regulación ambiental en la industria acuícola en Canadá.

2.1 Regulación de la Acuicultura en Canadá

En Canadá, la industria acuícola está supervisada por una combinación de autoridades federales, provinciales y locales. En años recientes, tanto el gobierno federal como el provincial, han hecho esfuerzos para establecer un marco regulatorio más eficiente, equilibrando la necesidad de proteger el medio ambiente, mantener la pesca y lograr una industria competitiva.

El gobierno federal tiene jurisdicción sobre la regulación de los productos pesqueros en el comercio de exportación e inter-provincial, la conservación y protección de los bancos de peces silvestres y el hábitat de los peces, y de la investigación y desarrollo. 17 departamentos y dependencias, encabezados por el Departamento de Pesca y Océanos de Canadá (DFO) (DFO, por sus siglas en inglés *Department of Fisheries and Oceans Canada*), comparten la autoridad federal que regula la industria acuícola.

El DFO tiene la responsabilidad de emitir licencias tanto para la importación a Canadá como para los movimientos inter-provincias de peces vivos, huevos y pescado muerto no eviscerado al amparo de la Ley de Pesca (1985), así como de la salud de los peces bajo la normatividad federal establecida en el Reglamento de Protección de la Salud de los Peces (*Fish Health Protection Regulations*). "Transport Canada" otorga las autorizaciones a las instalaciones acuícolas que afectan a la navegación, de acuerdo a la Ley de Protección de Aguas Navegables (1985) (*Navigable Waters*



Protection Act). El DFO o "Transport Canada" administran el proceso de evaluaci3n ambiental en coordinaci3n con "Environment Canada" y con la Agencia Canadiense de Evaluaci3n Ambiental (*Canadian Environmental Assessment Agency*) bajo la Ley Canadiense de Evaluaci3n Ambiental (1992) (*Canadian Environmental Assessment Act*).

Las responsabilidades especıficas para la acuicultura han sido delegadas del nivel federal al provincial. En general, las provincias son responsables de la planeaci3n acuıcola, el arriendo de tierras, licencias y aprobaciones de sitios acuıcolas, educaci3n y capacitaci3n acuıcola, la recolecci3n de estadısticas, la promoci3n de peces y productos acuıcolas, y el manejo de las operaciones cotidianas de la industria. Todas las provincias y territorios poseen instrumentos legislativos para regular la industria acuıcola. Algunas provincias han promulgado leyes relativas a la acuicultura, en tanto que a nivel local, los distritos regionales y municipalidades administran regulaciones de zonificaci3n.

Tanto el gobierno federal como provincial est3n autorizados para emitir licencias para iniciar y establecer infraestructura acuıcola en Canad3. El proceso de solicitud y licencia que se obtenga dependen de la ubicaci3n federal o provincial del sitio.

La regulaci3n de la descarga de aguas residuales depende tanto del poder federal como del provincial. A nivel federal, los efectos sobre el h3bitat causados por los cultivos de peces est3n reglamentados por la Ley Federal de Pesca (1985), que prohıbe la alteraci3n nociva y destrucci3n del h3bitat de los peces y el dep3sito de sustancias daıinas, a excepci3n de las autorizadas por el Departamento de Pesca y Océanos o por *Environment Canada*.

En Columbia Brit3nica, provincia en donde se encuentra la mayorıa de las concesiones de acuicultura, el Ministerio del Ambiente tiene la responsabilidad de desarrollar y hacer valer los est3ndares sobre residuos generados por la acuicultura. Asimismo, desarrolla monitoreos ambientales anuales y auditorıas para evaluar el desempeıo industrial en relaci3n a las normas establecidas y los efectos sobre el ecosistema marino. Las actividades especıficas incluyen: revisiones de la informaci3n de monitoreo ambiental a la industria, monitoreo anual de los sedimentos en los sitios de cultivo, desarrollo de los protocolos de muestreo y aseguramiento de la calidad o programas de control, establecimiento de prioridades para el monitoreo de los sedimentos en sitios de cultivo por parte del Ministerio del Ambiente, y muestreo ambiental de las concesiones operativas, retroalimentando a la administraci3n de las empresas.

En relaci3n al uso del DEPOMOD, 3ste se implementa como una medida de apoyo a la aprobaci3n de la concesı3n. Sin embargo, a diferencia de Escocia, el ındice de aceptabilidad medioambiental est3 asociado principalmente a la variable Sulfuro en el sedimento. El impacto sobre el sedimento bajo las jaulas de cultivo, se clasifica en funci3n al valor de concentraci3n de Sulfuro obtenido (Tabla 2). Por otro lado, existe una estrecha relaci3n entre los valores de sulfuros en sedimentos (μm) y tasas de deposici3n de carbono total ($\text{g Cm}^{-2}\text{d}^{-1}$).



Tabla 2.
Concentración de Sulfuros y tasas de deposición de carbono (Hargrave *et al.* 2008).

Clasificación Sitio	Concentración de Sulfuros en Sedimento (μm)	Tasas de deposición de Carbono (g C/m ² /día)	Efectos sobre el sedimento marino
Óxido A	<750	<1.0	Bajo Efecto
Óxido B	750 – 1500	1.0 – 2.0	Bajo Efecto
Hipóxido A	1500 – 3000	2.0 – 5.0	Puede causar efectos adversos
Hipóxido B	3000 – 4500	5.0 – 7.5	Probables efectos adversos
Hipóxido C	4500 – 6000	7.5 – 10.0	Causa efectos adversos
Anóxico	>6000	>10.0	Causa severos daños

2.2 Validación del modelo DEPOMOD en Canadá

DEPOMOD ha sido evaluado mayormente en las costas de British Columbia, zona con mayores actividades de acuicultura en Canadá. De gran relevancia es el estudio reciente que ha realizado la DFO (DFO, 2012) en Canadá. Esta revisión muestra el desempeño de este modelo comparado con observaciones de sulfuro, midiendo la eficacia para predecir la magnitud y zona de impacto de enriquecimiento orgánico en 5 sitios con actividad acuícola. Dentro de los resultados más importantes se pueden detallar los siguientes:

- Las predicciones de DEPOMOD de superficie total afectada por la deposición de partículas en los 5 sitios de muestreo no evidenciaron una relación significativa con el área de impacto medida.
- Las comparaciones de la máxima tasa de deposición de carbono orgánico predicho en cada sitio por DEPOMOD (módulo Re-suspensión apagado) no muestra una relación significativa con la medida de máxima concentración de sulfuro.
- Las comparaciones de concentración de sulfuro medido mostraron una correlación positiva con la predicción de DEPOMOD de tasas de deposición de carbono en los mismos sitios, pero con mucha variación, y la variación en las concentraciones de sulfuro observado aumentó con el nivel de deposición de carbono predicho.

2.3 Aplicaciones y Limitaciones del programa

Se considera que en Canadá, el DEPOMOD es una herramienta de apoyo de gran utilidad para la aprobación de una concesión, siendo un modelo de implementación de bajo costo, además que



ciertos datos con los cuales se alimenta el programa, están normalmente disponibles (datos productivos provenientes de las empresas de acuicultura).

En relación a las limitaciones del modelo, según el estudio realizado por la DFO (DFO, 2012), las principales fuentes de errores en que incurre DEPOMOD se refieren a que este modelo no permite la entrada de un umbral específico de corrientes para cada sitio en el módulo de re-suspensión, ya que tiene un valor constante que no puede ser modificado por el usuario. También existe incertidumbre en el tiempo requerido para que el carbono depositado esté consolidado (no disponible para re-suspensión) y cómo puede afectar la potencial re-suspensión producida y su eventual impacto. Hay que tomar en cuenta que este estudio sólo se realizó en 5 sitios y que por lo tanto pueden no ser representativos de sitios con otras condiciones, especialmente lugares más expuestos (viento y olas).

Un problema al comparar las predicciones de DEPOMOD y los efectos observados en los sedimentos orgánicos es que, el DEPOMOD predice la velocidad de deposición del carbono orgánico, mientras que los impactos son medidos como concentración de sulfuros en los sedimentos. Hay muchos procesos que intervienen en la velocidad de deposición de carbono a una concentración determinada de sulfuro en los sedimentos y el modelo DEPOMOD actualmente no incluye estos procesos. En la actualidad, la DFO está centrando los esfuerzos de investigación en: el desarrollo de modelos alternativos para evaluación de riesgos ambientales y en mejorar los procesos de re-suspensión dentro de los modelos; el aumento en la flexibilidad de parametrizaciones más allá de las capacidades del DEPOMOD; el aumento del tamaño del área de modelación para incluir múltiples sitios; y la combinación de transporte de partículas a modelos hidrodinámicos.

Otras consideraciones que hace DFO, es que DEPOMOD es un software comercial de código cerrado y que, por lo tanto, el usuario no tiene la opción de realizar cambios dentro del propio código. Por tanto, para hacer frente a algunos de los defectos del modelo y para mejorar la precisión, se debe considerar la posibilidad de elaborar otro modelo. Se identifican los problemas que pueden afectar la exactitud de DEPOMOD sobre los resultados en sitios de cultivo, como por ejemplo: el modelo utiliza un nivel del mar temporalmente constante; el umbral de velocidad actual de re-suspensión no puede ser alterado; y el uso de datos de correntometría en una sola posición (campo de corrientes homogéneo). Por lo tanto, se considera importante el desarrollo de un modelo que incorpore la variación espacial de la hidrodinámica, la variación temporal del nivel del mar, el tamaño del grano del sedimento, un módulo de re-suspensión mejorado, además de un modelo de conversión de la tasa de deposición de carbono a la concentración de sulfuro para mejorar sustancialmente las predicciones del impacto bentónico.



MESA REDONDA

Una vez finalizados ambos módulos se procedió a una mesa redonda en donde los participantes tuvieron la oportunidad de realizar preguntas hacia ambos expositores. A continuación se describen las preguntas y respuestas en torno al modelo DEPOMOD:

Pregunta 1: ¿Existe una relación entre los indicadores biológicos y los físicos?

Respuesta Thom Nickell: no existe un indicador global para el impacto, lo cual es difícil de relacionar, por eso hay que hacer en Chile una propia validación para encontrar las relaciones en caso que existieren.

Respuesta Fred Page: no se observa una clara relación entre el impacto ambiental versus un indicador como el sulfuro. Según Fred Page, no hay una relación tan clara como lo ha demostrado Hargrave. Hay variaciones espaciales entre biodiversidad y sulfuro. Se deben por tanto hacer muchas réplicas y análisis, lo cual encarece los estudios.

Pregunta 2: ¿Cuál es la diferencia de uso del DEPOMOD entre Escocia y Canadá?

Respuesta Thom Nickell: se ejecuta el DEPOMOD para la solicitud de un sitio acuicultura y predecir su impacto. Se utiliza el índice de impacto ITI, el cual no debe ser mayor a 30. Se ejecuta el modelo para conocer cuál es la biomasa a producir. La autoridad reglamentaria estima que refleja la realidad. Los muestreos para determinar el ITI son tomados a diversas distancias de las balsas jaulas, es decir a 0m, 25m, 50m, 100m, y un punto de referencia en el eje residual. Cada centro de cultivo presenta distintas características, por lo que las distancias de muestreo se van amoldando a ellos, pero en general las distancias a emplear en los muestreos del ITI son las mencionadas anteriormente.

Respuesta Fred Page: en Canadá, la industria elegía el lugar en donde quería realizar sus cultivos, luego se realizaba la evaluación ambiental. Si la actividad de acuicultura no se podía realizar, se rechazaba por el gobierno, con el fin de proteger el ecosistema. El régimen reglamentario se enfoca en el sitio, por tanto, los muestreos se realizan a orillas de la jaula, zona en donde mayor contaminación tiende a acumularse. Actualmente, Canadá está más preocupado de lo que pasa debajo de las jaulas. El umbral reglamentario es el sulfuro con un límite de 3000 (μm). Cuando sobrepasa estos valores, se puede incurrir en una multa. Las medidas reglamentarias advierten que están sobrepasando el nivel umbral. En caso que lo sobrepase deberán disminuir la producción. La industria debe tomar las muestras, existiendo diferentes regímenes según las provincias. Los estudios previos, como Sulfuro, Materia orgánica, correntometría, batimetría, granulometría, etc, están enfocados específicamente en el lugar en donde se instalará el centro. No se toman decisiones a base de DEPOMOD, sino sobre datos empíricos. El DEPOMOD contribuye a la ejecución, ya que predice que hay un impacto, pero en Canadá es considerado un elemento más. En la actualidad se cuestiona al DEPOMOD, analizándose la inclusión de un modelo de caja (Boxmodel), pero puede ser peligroso, dependiendo de las variables que se incorporen, las que se puedan mezclar y obtener resultados errados. Por otro lado, la filosofía es estudiar sitio por sitio,



determinando si la fuente específica ocasiona un problema. Los modelos de caja son útiles si se aplican adecuadamente.

Pregunta 3: ¿Cuál es la capacidad de carga de los centros?

Respuesta Thom Nickell: antes de determinar el sitio a cultivar, Escocia ha desarrollado e implementado un catálogo que identifica y clasifica el potencial de nutrientes bajo valores de 1, 2, y 3. Estos valores se relacionan con la biomasa máxima a producir por nivel.

Pregunta 4: ¿Existe alguna regulación para evaluar la interacción entre centros de cultivo? ¿Así como la implementación de barrios y macrozonas en Chile?

Respuesta Fred Page: en Canadá no, no hay centros con distancias menores a 300m entre ellos.

Respuesta Thom Nickell: en Escocia la distancia reglamentaria entre sitios con actividades de acuicultura es de 1800m.

Pregunta 5: ¿Qué tan importante es la toma de muestras de nutrientes?

Respuesta Thom Nickell: los nutrientes deben y son evaluados en Escocia, considerándose en general por los científicos un análisis algo exagerado.

Pregunta 6: ¿Cuáles son las variables o índices de mayor importancia?

Respuesta Fred Page: se sugiere tomar una submuestra de una cantidad determinada de concesiones y estudiar todas las variables y modelos a una mayor escala, como lo está haciendo IFOP con los modelos regionales hidrodinámicos. Recalca que no necesariamente en Chile se deban utilizar los mismos indicadores ambientales que en Canadá o Escocia, lo que se debe hacer es, probar cuál indicador, variable o conjunto de ellas explica de mejor manera el impacto en Chile, por medio de estudios de caracterización y validación a nivel nacional.

Pregunta 7: ¿Es un parámetro ambientalmente relevante el oxígeno disuelto, considerando la variabilidad que presenta en la columna de agua?

Respuesta Fred Page: en Canadá, si bien no es un parámetro exigido para la acuicultura, sí se considera importante desde el punto de vista ambiental y que no debería ignorarse, especialmente ahora que se cuenta con mejores tecnologías para su medición, se piensa que debería utilizarse



mucho más de lo que se hace actualmente. Por otra parte, el consejo de ministros del medio ambiente indica que este parámetro no debería disminuir más allá de los 6mg/l. Se considera que a valores menores a 3 mg/l los organismos ya comienzan a tener problemas en la zona del bentos. En las aguas de Canadá se registran valores entre 7-9 mg/l y no queremos que este rango de valores disminuya, especialmente porque hay varios estudios que indican efectos negativos en las especies que tienen altos requerimientos de oxígeno, como en el salmón. Si bien, actualmente para la acuicultura no se exige un valor, pensamos que se podrían ubicar sondas de medición en el fondo donde se realizan estas actividades, con la finalidad de llevar un mejor control.

Respuesta Thom Nickell: el oxígeno en el fondo se considera un parámetro ambiental muy importante para los organismos, y por ello, se señala un EQS (estándares de calidad europeo) para el oxígeno, que permite determinar la exigencia respecto de este parámetro.

Pregunta 8: ¿Cuál es el estado actual de la acuicultura en lagos en Canadá, y si se implementa la misma regulación que en agua de mar y los experimentos que han desarrollado para validar éstos como por ejemplo sulfuro y deposición de sedimentos?

Respuesta Fred Page: efectivamente se ha implementado DEPOMOD en agua dulce, sin embargo las concesiones actuales de acuicultura sólo están en las costas marinas, en gran cantidad específicamente en las costas de la provincia de British Columbia, y es solamente en esa localidad en donde el modelo ha sido validado.

Pregunta 9: ¿Cuánto tiempo le costó a Escocia hacer la capacidad de carga de sitios con acuicultura?

Respuesta Thom Nickell: el Boxmodel para nutrientes ha sido desarrollado a partir del año 1999, y aún se revisa anualmente. Debería estar revisado en su totalidad durante este año.

Pregunta 10: ¿Es factible la medición de sulfuros en sedimento grueso?

Respuesta Fred Page: la metodología de sulfuro está dada para sitios arenosos a finos, no en sedimentos gruesos. Recomienda visitar la página web de la DFO, en donde sale detallado lo que se hace en relación al enfoque químico y los cálculos con sondas. Se observa mucha variabilidad en las mediciones de sulfuro y probablemente el próximo año se re-pensará el tema.



Pregunta 11: ¿Cuál ha sido el comportamiento de la industria con respecto a la regulación de acuicultura con DEPOMOD?

Respuesta Fred Page: pocas concesiones están con niveles altos de sulfuro, por lo que no se observan grandes problemas. Se utiliza el DEPOMOD como una herramienta para escoger los sitios de cultivo, en Canadá se tienen datos a partir del año 1979, siendo los últimos 10 años los más estructurados. A fin de conocer mayormente la calidad de los sitios de cultivo en Chile, recomienda y considera oportuno que con el historial de datos ambientales existentes a nivel nacional, se implemente DEPOMOD.

Pregunta 12: ¿Cómo realizaron los experimentos para probar que una cierta velocidad sobre el fondo del sedimento, como es 9,5cm/s, exista una re-suspensión tal, que todo se dispersa?

Respuesta Thom Nickell: la validación se hizo en terreno, además se montaron experimentos de meso-cosmos, en donde se midió la dispersión de la partícula a diferentes velocidades, obteniendo entonces una relación entre tamaño de partículas, velocidad de corrientes y dispersión.

Respuesta Fred Page: el análisis está en proceso, tanto en laboratorio como en terreno. En laboratorio se está trabajando con las velocidades de decantación de fecas y alimento a determinadas velocidades de corrientes en un corer, mientras que en terreno se está trabajando en la validación mediante videos y filmaciones. Este módulo será parte del ECOM. En la actualidad se están realizando dichas investigaciones en 3 sitios con características distintas.

Pregunta 13: ¿Cuáles otros modelos han utilizado?

Respuesta Fred Page: FVCOM, un modelo hidrodinámico, que hace lo mismo que el DEPOMOD, pero en 3D. Se está intentando de mejorar el DEPOMOD, en relación al módulo de Re-suspensión. Este modelo inserta coeficiente de fondo con análisis de sedimento.

Respuesta Thom Nickell: se está utilizando el Aquamod de USA, con Benthic resuspension, se está analizando este modelo para medir el sulfuro, no es un modelo hidrodinámico y se encuentra en fase experimental.

Pregunta 14. ¿Cuál es la principal desventaja del DEPOMOD?

Respuesta Fred Page: falta de componente hidrodinámico, pero en aguas someras la fijación de las partículas, como la re-suspensión es importante, en caso que existiere. Por tanto, se requiere de un modelo con re-suspensión. Cuando se ejecuta el DEPOMOD, y las velocidades de las corrientes son



mayores a 10cm/s se hace turn off a la re-suspensión, ya que todo el material particulado es transportado.

Pregunta 15: ¿Existe la idea general de montar un modelo hidrodinámico, es decir de un campo homogéneo a un modelo hidrodinámico?

Respuesta Thom Nickell: DEPOMOD fue creado para SEABED Uniform, todo se podía predecir. Al querer predecir zonas con mayor cobertura de área, no se pudieron validar estas zonas, por lo que se hacía necesario un modelo hidrodinámico. Además es necesario acoplar un modelo hidrodinámico con varios modelos que midan la rugosidad.

Pregunta 16: ¿Cuál es el criterio de selección de una zona de control en Escocia?

Respuesta Thom Nickell: La estación control debe estar a una distancia mínima de 400 de las jaulas de cultivo, con similar profundidad, materia orgánica y granulometría. SEPA recomienda este criterio para el monitoreo de la estaciones control, que se realizan en forma anual.

Pregunta 17: ¿Cuál es la metodología de muestreo del bentos?

Respuesta Thom Nickell: normalmente se realizan 4 muestreos de draga de 0.025m³, sin embargo considera que deberían realizarse muchas más muestras y con una draga de mayor tamaño.

Pregunta 18: ¿No se considera la biomasa que se realiza en el muestreo del bentos?

Respuesta Thom Nickell: SEPA no lo considera, sin embargo para la ciencia sí es importante, sólo se utiliza el ITI y el AMBI, normalmente se preocupan mayormente sobre la diversidad de la fauna.

Pregunta 19: ¿Se ha observado diferencia entre lo predicho con DEPOMOD y la realidad?

Respuesta Fred Page: en algunos sitios los resultados son distintos. Probablemente se haya tratado con otras variables ambientales, como tipo de sedimento, re-suspensión, etc. Efectivamente se ha encontrado dispersión, lo que puede estar asociado a que por cierta enfermedad o tratamiento preventivo se haya cambiado la calidad del pellet o la cantidad de alimento a entregar.



Pregunta 20: ¿Cuál es la regulación o exigencias para fondos rocosos en Canadá?

Respuesta Fred Page: este tema se encuentra justamente en etapa de desarrollo, el sulfuro no funciona a cabalidad, por lo que también se ha implementando el análisis del género *Beggiatoa*, tecnología de videos con laser, imágenes, etc. Desde un punto de vista reglamentario, las inquietudes de acuicultura son la interacción con otras pesquerías, por ejemplo el cultivo de langostinos, el cual está influenciado por los salmónidos. El 80% de los sitios de acuicultura actuales en Canadá se encuentran sobre fondos blandos. Recalca que en la actualidad este tema se está analizando.

Una vez finalizada la ronda de preguntas se procedió a desarrollar en forma grupal las conclusiones emanadas del taller en general (ANEXO 7), las que fueron incluidas en las conclusiones generales descritas en el capítulo 6. CONCLUSIONES.

Objetivo específico 3. Generar y editar un documento que recopile las principales actividades desarrolladas, conclusiones y logros obtenidos en ellas.

Se hace entrega del presente informe final, en el cual se describen la metodología y resultados de acuerdo a cada objetivo específico, incluyendo una discusión y conclusiones, además de las referencias bibliográficas. El objetivo n° 1 contiene las entrevistas realizadas por el profesional del IFOP a entidades gubernamentales, científicas y productivas en Escocia, el objetivo n° 2 los principales elementos discutidos durante el taller en Viña del mar, así como las conclusiones obtenidas a partir de éste, y el objetivo n° 3 es la generación y edición del presente documento, propiamente tal. En el presente documento se incluyeron también como anexos la literatura asociada al DEPOMOD (Anexo 4), las presentaciones de los expositores Dr. Page y Dr. Nickell (Anexo 4), la demostración práctica en el uso del modelo que estuvo a cargo de Juan Pablo Belmar y Pablo Córdova con el apoyo de Thom Nickell (Anexo 5), fotos del taller (Anexo 3), listado de asistentes (Anexo 1), el programa del taller (Anexo 2), las conclusiones realizadas en forma grupal (Anexo 7), y la carta Gantt (Anexo 6).



5. DISCUSIÓN

En líneas generales la discusión se ha centrado en torno a aspectos generales de los modelos y sus potencialidades, y de manera particular respecto de DEPOMOD, que es el modelo que motiva el desarrollo de este trabajo, pero en un entorno ligado a la acuicultura y los asuntos ambientales.

Las herramientas de modelación en general cuando están bien calibradas, proveen información adicional y son muy orientadoras para los profesionales de los entes regulatorios, pues permiten adoptar medidas de regulación apoyadas por estos modelos y también para los científicos respecto de los aspectos del ambiente que debieran ser analizados prioritariamente en las áreas de influencia de las actividades de acuicultura. Sin embargo, las bondades de estos instrumentos respecto de lo que ocurre en la realidad, requieren de muestreos intensivos y extensivos de validación, para asegurar que provean buenas predicciones de lo que ocurre en el medio natural. Esto es relevante para cualquier área geográfica, pues toda herramienta que desee ser aplicada como instancia de modelación, necesariamente debe ser evaluada en las condiciones ambientales propias de cada sector en el cual desea ser aplicado. En el caso particular de Chile existe aquí un desafío importante, cualquiera sea la orientación de aplicación que se le pretendan otorgar a estas herramientas. Un mismo instrumento puede tener distintas potencialidades dependiendo tanto de su capacidad de predicción para los ambientes en los cuales se desea aplicar, como respecto de las decisiones políticas ligadas al uso que se le pretende otorgar. Suponiendo un modelo debidamente calibrado, también puede ser un instrumento muy valioso para el sector productivo, en el sentido que orienta y anticipa potenciales efectos, que pueden ser considerados en las estrategias productivas, incluidos el uso de fármacos.

Por otro lado, dadas estas condicionantes, puesto que el uso de modelos apoya fuertemente la toma de decisiones por parte de la autoridad, orienta apropiadamente a los investigadores cuando pretenden lograr una mejor comprensión de los fenómenos que están estudiando, y/o puede ser un instrumento de apoyo para el sector productivo en la planificación de determinadas actividades de cultivo, necesariamente se deberá abordar la interrogante de validar o adecuar apropiadamente un modelo que ya se encuentra en el mercado, o bien desarrollar un modelo particular para enfrentar los asuntos que pueden ser simplificados mediante aproximaciones que entregan estas herramientas. Existe también una opción combinada, que considere tanto la validación de algún modelo disponible en el mercado además del desarrollo de un modelo particular, para abordar situaciones puntuales y que complementen las proyecciones que puedan derivar del uso de un modelo ya disponible. Esta es una materia de decisión, pero que necesariamente deberá ser considerada en cualquier estrategia que desee ser aplicada con relación al uso de modelos y sus potencialidades de aplicación respecto de la situación particular de Chile, como herramienta de apoyo para la toma de decisiones. Esto supone también una apropiada comprensión de los sistemas naturales en los cuales se desean utilizar estas herramientas, lo cual constituye una debilidad para el caso de Chile, pues existen muchas interrogantes en este sentido, que aún no han sido abordadas. No necesariamente el conocimiento logrado en otras latitudes es aplicable a otras realidades. Este es un tema no menor, y que debe ser tenido en cuenta.



En cuanto a DEPOMOD, este es un modelo desarrollado en Escocia, que ha sido ampliamente utilizado en su país de origen como también en Canadá, sin embargo su implementación en relación al tema regulatorio es diferente. En el caso de Escocia, se usa como una herramienta de selección de sitios, y es obligatoria en el momento de solicitar una concesión de acuicultura. A partir de los datos generados por el modelo, se predice la capacidad ambiental del sitio y la producción de biomasa que puede estar ligada a ella, con un máximo de producción otorgable por parte del Estado, que en este caso asciende a 2.500 toneladas por ciclo productivo. DEPOMOD también es utilizado cuando el productor desea aumentar la producción para un sitio en particular. Para aprobar una solicitud de concesión, las autoridades de Escocia se basan en el índice trófico de la infauna (*Infaunal Trophic Index*, ITI, Mearns y Word, 1982), usando como valor referencial estimadores de ≥ 30 , ya que valores menores determinan que la concesión no sea aprobada. Adicionalmente, al finalizar el ciclo productivo deben hacerse muestreos del fondo marino (i.e. infauna), y si este índice es ≤ 30 , SEPA solicita una disminución de biomasa para el próximo ciclo productivo o si el índice es muy bajo (< 10) se suspende un ciclo.

En Canadá en cambio, DEPOMOD se usa como una herramienta de soporte para evaluar el potencial impacto de la acuicultura, específicamente del cultivo de salmonídeos en British Columbia (Chamberlain *et al.* 2005; Chamberlain y Stucchi, 2007), sureste de New Brunswick (DFO 2009; Page *et al.*, 2009), y Bahía St. May (DFO, 2011). Como índice de condición ambiental se utiliza el Sulfuro, considerándose las mediciones de concentraciones de sulfuros en sedimentos como indicadores relevantes de los cambios en la biodiversidad del bentos (DFO, 2012). Cuando los valores de sulfuro sobrepasan los 3000 μM , se gatilla una alerta para que el productor disminuya la producción de biomasa por concesión otorgada.

En referencia a la relación que existe entre las variables e índices determinantes en la calidad ambiental de sitios con acuicultura utilizados tanto en Escocia como en Canadá, se analiza la relación entre el carbono predicho y el índice ITI, demostrando que el carbono depositado incrementa en $1 \text{ gCm}^{-2} \text{ d}^{-1}$ cuando los valores de ITI aumentan a 50, indicando que la estructura comunitaria del bentos no está siendo afectada y es tolerante a un aumento del carbono. Sin embargo, cuando el carbono excede $1 \text{ gCm}^{-2} \text{ d}^{-1}$, se observa un decrecimiento dramático del ITI, reflejando un impacto en la estructura de la comunidad del bentos. El cambio de valor de ITI sugiere que la tolerancia de carbono se ha excedido y las condiciones locales del fondo marino no son aptas para soportar una comunidad bentónica sana y diversa (Chamberlain y Stucchi, 2007). En términos de la alteración química de los sedimentos en los sitios con cultivos de salmónidos, Chamberlain y Stucchi (2007), revelan que la concentración del sulfuro en el sedimento aumenta dramáticamente a través del período del ciclo productivo, lo cual se relaciona con el incremento del desecho de los alimentos depositados sobre el fondo. Estos antecedentes fueron comparados con los resultados de carbono total usando DEPOMOD, el cual también predice un incremento del carbono total a lo largo del ciclo productivo. Además, sugieren que la transición del estado del bentos desde un ambiente "sano o equilibrado", es decir con un ITI de 50, y Sulfuro de 1300 μM , a un sitio con condiciones degradadas (ITI de 25 a 50, y Sulfuro de 1300 μM) ocurre entre los $1\text{--}2 \text{ g C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. Estos valores se relacionan de buena manera con los procesos de enriquecimiento orgánico y concentración de sulfuros en el agua intersticial (Wildish *et al.*, 2004). Wildish *et al.* (2001) y Holmer



et al. (2005) sugieren que la transición del oxígeno en el sedimento desde normal, óxico, hipóxico a condiciones anóxicas, corresponden a concentraciones de sulfuro de entre 300 μM , 300–1300 μM , 1300–6000 μM y 6000 μM respectivamente. En síntesis, al aumentar el enriquecimiento orgánico, aumentan las tasas de deposición de carbono y las concentraciones de sulfuros en los sedimentos, mientras que los valores ITI y la concentración de oxígeno disminuyen. Por tanto, según lo analizado a partir de publicaciones científicas y lo expuesto en el taller, existe una relación estrecha entre las concentraciones de sulfuro, índice ITI, carbono total y oxígeno en los sedimentos de sitios con acuicultura.

Consecuentemente, se aprecia que el uso de DEPOMOD y los indicadores ambientales incorporados en la normativa de ambos países para regular el desarrollo de la salmonicultura, se sustentan en un conjunto reducido de variables, pero que requieren un claro conocimiento del entorno en el cual se realizan las actividades productivas, de tal forma que logran, a la luz de los antecedentes conocidos durante el taller, una acuicultura sostenida. Aquello orienta a que la aplicación de DEPOMOD en particular, y respecto de la estrategia a aplicar para lograr una acuicultura sustentable, necesariamente deba ser desarrollada localmente, ponderando además las características particulares de las áreas en las cuales se desarrolla salmonicultura en Chile. Por tanto, cualquier intento de aplicar DEPOMOD debe considerar el caracterizar y validar todos los parámetros que están considerados en este modelo, en las áreas en que pretenda ser aplicado, además de escoger los criterios e índices que expliquen de mejor forma el estado ambiental de cada concesión. La selección de un número reducido de sitios representativos de situaciones diversas, en los cuales se puedan realizar estudios piloto, sería la vía más apropiada para conocer la potencialidad de los índices que se deseen privilegiar, además de la validación de DEPOMOD, u otra instancia de modelación según sea considerado.

La principal aplicación de DEPOMOD es que constituye una herramienta útil para la regulación y planificación en la industria de la acuicultura. Sus principales virtudes es que el programa se alimenta con datos que normalmente están disponibles, como datos productivos de la actividad de acuicultura (especie, número de ejemplares, dimensión de las jaulas, tipo de alimento, cantidad de alimento suministrado, entre otros); además de presentar un bajo costo en el mercado, pero debe ser validada previo a su utilización en cualquier situación en que pretenda ser incorporada.

Entre las principales limitaciones identificadas para el modelo, es importante destacar que DEPOMOD es un modelo desarrollado para ser aplicado solamente a escala LOCAL, y que además fue desarrollado en Escocia para sitios con sedimentos blandos y de baja a moderada dispersión, y de un flujo laminar, por lo que se requieren pruebas adicionales para las zonas de sedimentos duros y de mayor dispersión (ECASA.org.uk, 2008). El uso del DEPOMOD en Escocia ha demostrado modelar bien a profundidades mayores de 60 metros, sin embargo, el principal problema que se visualiza, y que está en proceso de revisión por parte del SEPA, es la asociación de grandes profundidades y sustrato duro.

En el caso de Canadá, los estudios de evaluación del modelo en sitios de cultivo de salmónidos realizados por la DFO concluyen que DEPOMOD tiene importantes limitaciones, como son: el



modelo no puede ser modificado por el usuario, ya que es un software comercial y de código cerrado; la utilización de un nivel del mar constante; un umbral de velocidad de re-suspensión inalterable; y un campo hidrodinámico homogéneo. Estas limitaciones deben ser consideradas y corregidas a fin de mejorar las predicciones de los efectos de la actividad de acuicultura sobre el fondo marino. En el caso específico de la re-suspensión, en el proceso de desarrollo del modelo se demostró que una velocidad de la corriente de 9.5cms^{-1} a pocos centímetros del fondo, genera re-suspensión, de tal forma que, la partícula no vuelve a asentarse en el mismo lugar. Por ello, el modelo no puede predecir la ruta del carbono total a velocidades superiores a la indicada. Esto quiere decir también, que para validar el modelo a la realidad de Chile, se debe contar con los datos de velocidad de corrientes a poca distancia del fondo marino, o disponer de valores exponenciales de las capas superiores, lo que se puede obtener a través de ensayos en laboratorio o mesocosmos, tal como lo hizo Escocia para la validación de la velocidad de re-suspensión. Las limitantes señaladas anteriormente, hacen considerar que es la ocasión para que en Chile se desarrolle un modelo similar y funcional, probado y aprobado para la realidad chilena, además de desarrollar los criterios y la identificación de las variables que serán utilizadas en la evaluación de la calidad ambiental en Chile en las concesiones de acuicultura. Ello, no obstante a que en determinadas circunstancias DEPOMOD pueda ser una herramienta útil en Chile.

También, para asegurar una mayor representatividad del modelo a la realidad de cada sitio en estudio, se hace necesario contar con el máximo detalle de todos los parámetros y variables por sitio, ya que cada cual tiene sus propias características ambientales, oceanográficas y productivas (Chamberlain y Stucchi, 2007). Por tanto, es de gran importancia contar con un mayor detalle y veracidad de la información requerida para alimentar el modelo, tales como: una mejor batimetría (batimetría con mayor resolución), datos hidrográficos en un periodo mayor a 15 días (se considera un tiempo ideal de 30 días, 15 días es considerado como bueno, y un lapso de 24 horas no es representativo), mayor número de muestras en terreno, como son las muestras de sulfuro, e ITI en un mayor número de grupos (para calcular exitosamente el índice ITI, se requieren un número de especies no menor a 5, además del análisis de a lo menos el 80% de las especies de la muestra).

A nivel mundial, diversos índices biológicos están siendo utilizados para evaluar el impacto ambiental de las actividades de acuicultura sobre el ecosistema acuático. Algunos de estos índices biológicos son el ITI (Codling y Ashley, 1992), y el AMBI. El *Infaunal Trophic Index* (Word, 1979), ha sido utilizado para medir los impactos derivados de la acuicultura en variados ambientes (Maurer *et al.*, 1999; Cromey *et al.*, 2002^a; Aguado-Giménez *et al.*, 2007). El Índice AZTI's *Marine Biotic Index* (AMBI) (Borja *et al.*, 2000) ha sido usado para detectar diferentes fuentes de impacto a lo largo de las costas de Europa ((Borja *et al.*, 2003), incluyendo impactos derivados de la acuicultura (Muxika *et al.*, 2005, Carvalho *et al.*, 2006; Sanz-Lázaro y Marín, 2006; Aguado-Giménez *et al.*, 2007; Bouchet y Sauriau, 2008; Callier *et al.*, 2008) Ambos índices entregan información sobre la comunidad biótica presente en el sedimento de un sitio en particular, reflejando el estado trófico y la distribución de especies y su abundancia relativa, lo que puede ser usado como un indicador de calidad ambiental (Borja *et al.*, 2000; Maurer *et al.*, 1999). Un estudio realizado por Borja *et al.*, 2009, compara los resultados de ITI, AMBI, abundancia y biomasa, en 16 diferentes sitios en Europa (desde Noruega a Grecia), y concluye que existe una relación inversa entre ambos índices (ITI y AMBI). Sin embargo,



para obtener resultados que expliquen de mejor forma la calidad ambiental de los sitios, el uso de la combinación de índices bentónicos tiende a potenciar la reducción de los errores (Van Dolah *et al.*, 1999), y pueden reflejar con mayor precisión lo que ocurre en el ambiente (Mavraganis *et al.*, 2010). A menudo se recurre a la evaluación ambiental nacional, comparando los niveles de contaminación con estándares internacionales, por tanto, se hace evidente la necesidad de desarrollar los criterios y la identificación de variables para la evaluación del estado ambiental de Chile, y que sean aplicables a cada realidad local.



6. CONCLUSIONES

1. Los efectos de las acciones antropogénicas pueden ser evaluados mediante herramientas diversas, tales como modelos e indicadores ambientales, que permiten evaluar la calidad del ambiente e incluso predecir cambios asociados a dichas actividades.
2. El uso de estos modelos e indicadores permite a los entes gubernamentales planificar y regular las actividades productivas, para lograr una acuicultura sustentable, y a los científicos les permite evaluar la calidad del ambiente en los lugares donde se desarrollan actividades de acuicultura e incluso lograr una mejor comprensión de la estructura y organización de dichos sistemas, como también pueden ser una herramienta para la planificación de las actividades productivas.
3. En acuicultura, estos modelos predicen la dispersión y aporte de residuos orgánicos desde las jaulas de cultivo y por lo mismo, pueden ser usados como herramientas de gestión para la localización de los sitios más apropiados para el desarrollo de acuicultura y para la evaluación del potencial de enriquecimiento orgánico de los ecosistemas bentónicos.
4. La interpretación final del estado real de la calidad ambiental de aquellos sitios, en donde no se haya validado el modelo a utilizar, se presume errónea, de allí la importancia de evaluar y/o adecuar un modelo bajo condiciones locales, o bien desarrollar un modelo en particular según los requerimientos establecidos, o incluso puede darse la combinación de ambas alternativas. Esto es relevante dado que valores de referencia internacional respecto de los niveles de contaminantes no siempre se ajustan a las condiciones locales. Por tanto, se recalca que para la situación chilena es necesario evaluar primeramente cuáles son las oportunidades en las que el programa puede ser utilizado, y en aquellas en que el programa no muestra buenas predicciones se debe evaluar la factibilidad de modificarlo, aplicar otro modelo, o acoplar un módulo u otro modelo al DEPOMOD.
5. DEPOMOD es una de estas herramientas de carácter ambiental, un modelo desarrollado en Escocia para ser aplicado solamente a escala LOCAL, específicamente en sitios con sedimentos blandos y de baja a moderada dispersión, además de flujo laminar. En la actualidad, diversos países han usado el modelo en investigación y/o como una herramienta útil para la regulación y planificación en la industria de la acuicultura, sin embargo sólo Escocia ha validado el modelo en su país, y parte de Canadá, específicamente en British Columbia.
6. En Escocia y Canadá, países en los que DEPOMOD ha sido más utilizado, la aplicación de este modelo es absolutamente diferente. En Escocia se aplica como una herramienta de selección de sitios, y su implementación es obligatoria en el momento de solicitar una concesión de acuicultura, o ampliación de producción de biomasa. En Canadá en cambio, se utiliza como una herramienta de soporte para evaluar el potencial impacto de la acuicultura.



7. La regulación de Escocia y Canadá se sustenta en un número reducido de variables ambientales, pero que requieren de un conocimiento previo del entorno en el cual se realizan las actividades de acuicultura. En Escocia se aplica el índice ITI, mientras que en Canadá es la variable Sulfuro. Por tanto, la aplicación de DEPOMOD en Chile, debe considerar la caracterización y validación de todos los parámetros que están considerados en este modelo, en las áreas en que pretenda ser aplicado, además de escoger los criterios e índices que expliquen de mejor forma el estado ambiental de cada concesión.
8. La principal aplicación de DEPOMOD, es que constituye una herramienta útil para la regulación y planificación en la industria de la acuicultura. Sus principales virtudes son que el programa se alimenta con datos que normalmente están disponibles, como datos productivos de la actividad de acuicultura (especie, número de ejemplares, dimensión de las jaulas, tipo de alimento, cantidad de alimento suministrado, entre otros); además de presentar un bajo valor adquisitivo. Entre las principales limitaciones están la asociación de grandes profundidades y sedimento duro; la imposibilidad de modificar el modelo por parte del usuario, ya que es un software comercial y de código cerrado; la utilización de un nivel del mar constante; un umbral de velocidad de re-suspensión inalterable; un campo hidrodinámico homogéneo; además del tamaño de la grilla que limita la predicción a un área acotado.
9. En el caso particular de Chile, si se desean mejorar las predicciones del modelo, se deben incorporar la variación del nivel del mar, mejorar el módulo de re-suspensión, incluir un modelo hidrodinámico que incorpore la variación espacial de la circulación, considerar un modelo de conversión de la tasa de deposición de carbono según la concentración de sulfuro, además de ejecutar una batimetría más detallada.
10. Se concluye también, que para incorporar modelos tendientes a explicar las capacidades de carga de zonas geográficas, en donde se pretenda el desarrollo de actividades de acuicultura, se requiere de un mayor conocimiento que ayude a implementar y complementar la información necesaria para la toma de decisiones, así como la caracterización de las diferentes zonas, dado que actualmente es información muy limitada.
11. Eventual uso de DEPOMOD en la modelación espacio-temporal de las partículas de fármacos, específicamente Emamectina, identificando dicho medicamento en el fondo marino.



7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguado-Giménez, F., Marín, A., Montoya, S., Marín-Guirao, L., Piedecausa, A., García-García, B., 2007. Comparison between some procedures for monitoring offshore cage culture in western Mediterranean Sea: Sampling methods and impact indicators in soft substrata. *Aquaculture* 271, 357–370.
- Berry, C and A. Davison. 2001. *Bitter Harvest: A Call for Reform in Scottish Aquaculture*. Perthshire, Scotland: WWF Scotland.
- Borja, A., Muxika, I., Franco, J., 2003. The application of a Marine Biotic Index to different impact sources affecting soft-bottom benthic communities along European coasts. *Marine Pollution Bulletin* 46, 835–845.
- Borja A, Franco J, Perez V. 2000. A marine Biotic Index to establish the ecological quality of soft-bottom benthos within European estuarine and coastal environments. *Mar Poll Bull* 40(12): 1100-1114.
- Bouchet y Sauriau, 2008; Bouchet, V.M.P., Sauriau, P.G., 2008. Influence of oyster culture practices and environmental conditions on the ecological status of intertidal mudflats in the Pertuis Charentais (SW France): a multi-index approach. *Marine Pollution Bulletin* 56, 1898–1912.
- Callier, M.D., McKindsey, C.W., Desrosiers, G., 2008. Evaluation of indicators used to detect mussel farm influence on the benthos: two case studies in the Magdalen Islands, Eastern Canada. *Aquaculture* 278, 77–88.
- Carvalho, S., Barata, M., Pereira, F., Gaspar, M.B., Cancela da Fonseca, L., Pousao-Ferreira, P., 2006. Distribution patterns of macrobenthic species in relation to organic enrichment within aquaculture earthen ponds. *Marine Pollution Bulletin* 52, 1573–1584.
- Chamberlain J., Stucchi D., Lin Lu & Levings C. 2005. The suitability of DEPOMOND for use in the management of finfish aquaculture sites, with particular reference to Pacific Region. Fisheries & Oceans Canada.
- Chamberlain, J. and D. Stucchi. 2007. Simulating the effects of parameter uncertainty on waste model predictions of marine finfish aquaculture. *Aquaculture* 272, 296-311.
- Codling ID, Ashley SJ. 1992. Development of a biotic index for the assessment of pollution status of marine benthic communities, Water Research Council Report No. SR 2995, Marlow, Bucks SL7 2HD, UK.



- Cromeey, C.J., Nickell, T.D., Black, K.D., 2002a. DEPOMOD— modelling the deposition and biological effects of waste solids from marine cage farms. *Aquaculture* 214, 211–239.
- Cromeey, C.J. and K.D. Black. 2005. Modelling the impacts of finfish aquaculture. Chapter 7 in: *The Handbook of Environmental Chemistry. Environmental Effects of Marine Finfish Aquaculture. Volume 5: Water Pollution.* Springer, Berlin Heidelberg New York.
- Cromeey, C.J., Nickell, T.D. & Black, K.D. 2002. DEPOMOD-modelling the deposition and biological effects of wasted solids from marine cage farms. *Aquaculture*, 214, 211-239.
- Cromeey, C.J., T.D. Nickell and K.D. Black. 2000. DEPOMOD(v1.5) software: A model for predicting the effects of solids deposition to the benthos from mariculture. CCMS, Dunstaffnage Marine Laboratory, P.O. Box 3. Oban, Argyll, UK. PA34 4AD.
- Department of Fisheries and Oceans Canada (DFO). 2009. Water currents, drifter trajectories and the potential for organic particles released from Little Musquash Cove to enter the Musquash MPA. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Sci. Resp. 2009/001.
- Department of Fisheries and Oceans Canada (DFO). 2011. Landings, lifecycle, and utilization of habitat for lobster in the vicinity of two proposed finfish aquaculture sites in St. Mary's Bay, Nova Scotia. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Sci. Resp. 2011/002.
- Department of Fisheries and Oceans Canada (DFO). 2012. Review of DEPOMOD predictions versus observations of sulfide concentrations around five salmon aquaculture sites in southwest New Brunswick. Canadian Science Advisory Secretariat Science Advisory Report 2012/042.
- Hargrave, B.T., Holmer, M., and Newcombe, C.P. 2008. Toward a classification of organic enrichment in marine sediments based on biogeochemical indicators. *Mar. Pollut. Bull.* 56: 810-824.
- Henderson, A., S. Gamito, I. Karkassis, P. Pederson and A. Smaal. 2001. Use of hydrodynamic and benthic models for managing the environmental impacts of marine aquaculture. *Journal of Applied Ichthyology*. 17 163-172.
- Holmer, M., Wildish, D., Hargrave, B.T., 2005. Organic enrichment from marine finfish aquaculture and effects on sediment processes. In: Hargrave, B.T. (Ed.), *Environmental Effects of Marine Finfish Aquaculture. Hdb Env Chem*, vol. 5. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, pp. 186–206.
- Maurer D, Mengel M, Robertson G, Gerlinger T, Lissner A. 1999. Statistical process control in sediment pollutant analysis. *Environ Poll* 104(1): 21-29.



- Mearns, A.J. and J.Q. Word. 1981. Forecasting effects of sewage solids on marine benthic communities. In: Mayer, G.F. (Ed). Ecological stress and the New York Bight: Science and Management. Columbia S. Carolina Estuarine Research Federation, United States, pp. 495-512. Columbia, S. Carolina.
- Muxika, I., Borja, Á., Bonne, W., 2005. The suitability of the marine biotic index (AMBI) to new impact sources along European coasts. *Ecol. Indic.* 5, 19–31.
- Page, F.H., B. Chang, R. Losier, and P. McCurdy. 2009. Water currents, drifter trajectories, and the estimated potential for organic particles released from a proposed salmon farm operation in Little Musquash Cove, southern New Brunswick to enter the Musquash Marine Protected Area. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2009/003.
- Sanz-Lázaro C, Marin A. 2006. Benthic recovery during open sea fish farming abatement in Western Mediterranean, Spain. *Mar Environ Res* 62: 374-387.
- Scottish Environmental Protection Agency (SEPA). 2003. Regulation and monitoring of marine cage fish farming in Scotland: a procedures manual. SEPA, Stirling, Scotland. www.sepa.org.uk/aquaculture.
- Scottish Environmental Protection Agency (SEPA). 2005. Detailed description of SEPA's revised methodology to assess soft sediment sea bed impacts and derive consent limits for maximum biomass- Consultation document. 20 December 2004. SEPA, Stirling, Scotland. www.sepa.org.uk/aquaculture.
- Van Dolah RF, Hyland JL, Holland AF, Rosen JS, Snoots TR. 1999. A benthic index of biological integrity for assessing habitat quality in estuaries of the southeastern United States. *Mar Environ Res* 48: 269-283. Mavraganis *et al.*, 2010
- Wildish, D.J., Hargrave, B.T., Pohle, G., 2001. Cost effective monitoring of organic enrichment resulting from salmon mariculture. *ICES J. Mar. Sci.* 58, 469–476.
- Wildish, D.J., Dowd, M., Sutherland, T.F., Levings, C.D., 2004. A scientific review of the potential environmental effects of aquaculture in aquatic systems. Volume III Near-field organic enrichment from marine finfish aquaculture. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. 2450 (117 pp.).

A N E X O S

A N E X O 1

Listado Asistentes Taller.



AGENDA PROPUESTA · TALLER

“EXPERIENCIA INTERNACIONAL EN LA APLICACI3N DE DEPOMOD PARA LA ACUICULTURA”

Lunes, 07 de enero 2013
Hotel B.W. Marina del Rey · Viña del Mar.

N°	Nombre	Mail	Instituci3n	Firma
1	José Miguel Buzón	jbuzon@subpesca.cl	SSP	[Firma]
2	Eugenio Zamorano	ezamorano@subpesca.cl	SSP	[Firma]
3	Elias Pimilla M.	Elias.Pimilla@ifop.cl	IFOP	[Firma]
4	Franco J. R.	frj@subpesca.cl	Subpesca	[Firma]
5	Andrés Induráin	andres@subpesca.cl	Subpesca	[Firma]
6	Rolando Hoyer	rhoer@subpesca.cl	Subpesca	[Firma]
7	Claudio Javalquinto	cjavalquinto@subpesca.cl		[Firma]
8	M ^a Belén Baez	mbibaez@subpesca.cl	ssp.	[Firma]
9	Pablo Cordova M.	more023@gmail.com	Procevic	[Firma]
10	Vicente Volenzuela	VALENZUELA@SUBPESCA.CL	SSP	[Firma]
11	Juan Pablo Belmonte	jb Belmonte@subpesca.cl	SSP	[Firma]
12	Cristian Acavedo	cristianac@subpesca.cl	SSP	[Firma]
13	Leonardo Gutman	leonardo.gutman@ipp.cl	IFOP	
14	Carolina Oyarzo	carolina.oyarzo@ipp.cl	IFOP	
15				



AGENDA PROPUESTA · TALLER

“EXPERIENCIA INTERNACIONAL EN LA APLICACIÓN DE DEPOMOD PARA LA ACUICULTURA”

Martes, 08 de enero 2013
Hotel B.W. Marina del Rey • Viña del Mar.

Nº	Nombre	Mail	Institución	Firma
1	Roland Hager	rhager@subpesca.cl	Subpesca	
2	Elias Trilla M.	Elias.Trilla@ifop.cl	IFOP	
3	Claudia Javalpinto	cjavalpinto@subpesca.cl	SSP	
4	MA Belén BARRER P.	mbibarez@subpesca.cl	ssp	
5	Cristóbal Acevedo	Cristobal@subpesca.cl	ssp	
6	Fran Urbso R.	frunibe@subpesca.cl	Subpesca	
7	Carolina Molina	cmolina@subpesca.cl	Subpesca	
8	Carolina Oyarzo	carolina.oyarzo@ipp.cl	IFOP	
9	Leonardo Gutiérrez	leonardo.gutierrez@ifop.cl	IFOP	
10	Pablo Cobarr M.	more023@gmail.com	Proceavic	
11	Ugo Pablo Belmar	ubelmar@subpesca.cl	Subpesca	
12	Vicente Valenzuela G.	VVALENZUELA@SUBPESCA.CL	SSP	
13				
14				
15				



AGENDA PROPUESTA - TALLER

“EXPERIENCIA INTERNACIONAL EN LA APLICACIÓN DE DEPOMOD PARA LA ACUICULTURA”

Miércoles, 09 de enero 2013
Hotel B.W. Marina del Rey • Viña del Mar.

N°	Nombre	Mail	Institución	Firma
1	Carolina Oyarzo	carolina.oyarzo@ifop.cl	IFOP	[Signature]
2	Leonardo Guzmán	leonardo.guzman@ifop.cl	IFOP	[Signature]
3	Cristiano Bustos	cristiano@subpesca.cl	Subpesca	[Signature]
4	Cristián Acuña	Cristianac@subpesca.cl	Subpesca	[Signature]
5	Claudia Javalpinto	cjavalpinto@subpesca.cl	SSP	[Signature]
6	M.A. Belén Ibáñez P.	mbibanz@subpesca.cl	SSP	[Signature]
7	Pablo Cordova M.	more023@gmail.com	Proceavic	[Signature]
8	CHRISTIAN ANDAUR	CANDAUR@SERVAPECA.GU	SERVAPECA	[Signature]
9	Vicente Valencia G.	VVALENZUELA@SUBPESCA.CL	SUBPESCA	[Signature]
10	Fran Urrutia R.	fruribe@subpesca.cl	SUBPESCA	[Signature]
11	Rolando Hege	rheger@subpesca.cl	Subpesca	[Signature]
12				
13				
14				
15				



AGENDA PROPUESTA - TALLER

“EXPERIENCIA INTERNACIONAL EN LA APLICACIÓN DE DEPOMOD PARA LA ACUICULTURA”

Jueves, 10 de enero 2013
Hotel B.W. Marina del Rey • Viña del Mar.

N°	Nombre	Mail	Institución	Firma
1	Patricio Ruiz	Patricio.Ruiz@poch.cl	Poch Marina	[Firma]
2	Juan Tapie	jtapie@litaval.austrel.cl	Litaval A.	[Firma]
3	Vicente Valenzuela	VVicenzuela@serapesca.cl	Serapesca	[Firma]
4	Elias Pimilla	Elias.Pimilla@ifop.cl	IFOP	[Firma]
5	Roland Heger	rheger@subpesca.cl	Subpesca	[Firma]
6	Yenny Guerrero A	ygoerrero@sernapesca.cl	Sernapesca	[Firma]
7	Juan Pablo Zamora	jpzelmar@subpesca.cl	Subpesca	[Firma]
8	Pablo Cordova M.	more023@gmail.com	Procesos	[Firma]
9	M ^A Belén Ibarril	mbibarril@subpesca.cl	Subpesca	[Firma]
10	Claudia Javalquinto	javalquinto@subpesca.cl	Subpesca	[Firma]
11	Cristina Suedin	csuedin@subpesca.cl	Subpesca	[Firma]
12	Eloir Oaibe	foaibe@subpesca.cl	Subpesca	[Firma]
13	Leonardo Guzman	leonardo.guzman@ifop.cl	IFOP	[Firma]
14	Cristina Oyarzo	cristina.oyarzo@ifop.cl	IFOP	[Firma]
15				



AGENDA PROPUESTA · TALLER

“EXPERIENCIA INTERNACIONAL EN LA APLICACIÓN DE DEPOMOD PARA LA ACUICULTURA”

Viernes, 11 de enero 2013
Hotel B.W. Marina del Rey • Viña del Mar.

N°	Nombre	Mail	Institución	Firma
1	Carolina Oyarzo	carolina.oyarzo@ifop.cl	IFOP	[Firma]
2	Patricio Pérez	Patricio.Perez@Proch.cl	Proch.	[Firma]
3	Tyren Torie	tyren@litandaustral.cl	Litoral Austral	[Firma]
4	Pablo Cordova M.	more023@gmail.com	Procepic	[Firma]
5	Juan Plaza	Fred. Plaza Ceballos - mps. sc. ca paz@ce	PFO	[Firma]
6	Elián Dimilla	Elián Dimilla@ifop.cl	IFOP	[Firma]
7	Leonardo Guesu	leonardo.guesu@ifop.cl	IFOP	[Firma]
8	Josef. Blanco	JLBIANCO@BLUEWATER.CL	BLUEWATER	[Firma]
9	MA Belén Banael	mbibanael@subpesca.cl	SSP	[Firma]
10	Fran Juepe .R.	franjuepe@subpesca.cl	SSP	[Firma]
11	Vicente Volenqueto	VVICENTE@SUBPESCA.CL	SSPA	[Firma]
12	Carolina Moreno	Carolina.moreno@subpesca.cl	SSPA	[Firma]
13	Roland Hoyer	rhoer@subpesca.cl	Subpesca	[Firma]
14				
15				

A N E X O 2

Programa del Taller.



INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO / DIVISI3N DE INVESTIGACI3N EN ACUICULTURA



AGENDA PROPUESTA · TALLER
“EXPERIENCIA INTERNACIONAL EN LA APLICACI3N
DE DEPOMOD PARA LA ACUICULTURA”

Organiza:
Divisi3n de Investigaci3n en Acuicultura

INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO • www.ifop.cl
ALMTE. MANUEL BLANCO ENCALADA 839, VALPARAISO, CHILE | TEL: (56-32) 2151300 - FAX: (56-32) 2151645

7 al 11 enero de 2013, Viña del mar
Hotel B.W. Marina del Rey · Viña del Mar



Lunes 7 de enero

Modelación de los efectos ambientales derivados de las operaciones acuícolas marinas, a través del DEPOMOD.



Martes 8 de enero

Familiarización con el software DEPOMOD.



Miércoles 9 de enero

Familiarización con el software DEPOMOD.



- 09:00 – 09:15 Acreditación.
- 09:15 – 09:30 Palabras de Bienvenida. • Sr. José Miguel Burgos, Jefe de la División de Acuicultura, SUBPESCA.
- 09:30 – 09:45 Presentación del Proyecto SUBPESCA 4728-53-LE12. • Dr. Leonardo Guzmán Méndez, Jefe División Investigación en Acuicultura, IFOP.
- 09:45 – 10:30 Introducción DEPOMOD. • Dr. Thom Nickell, Investigador SAMS, Escocia.
- 10:30 – 10:45 Coffe break.
- 10:45 – 13:00 Descripción del modelo DEPOMOD. • Dr. Thom Nickell, Investigador SAMS, Escocia.
- 13:00 – 14:00 Almuerzo.
- 14:00 – 15:30 Información necesaria para la alimentación del software. • Dr. Thom Nickell, Investigador SAMS, Escocia.
- 15:30 – 15:45 Coffe break.
- 15:45-17:30 Aplicaciones y limitaciones del modelo. • Dr. Thom Nickell, Investigador SAMS, Escocia.

- 09:00 – 10:00 Metodología Validación DEPOMOD Acuicultura en Escocia. • Dr. Thom Nickell, Investigador SAMS, Escocia.
- 10:00 – 11:00 Casos de estudios internacionales (trabajo en grupo dirigido). • Dr. Thom Nickell, Investigador SAMS, Escocia.
- 11:00 – 11:15 Coffe break.
- 11:15 – 13:00 Casos de estudios internacionales (trabajo en grupo dirigido). • Dr. Thom Nickell, Investigador SAMS, Escocia.
- 13:00 – 14:00 Almuerzo.
- 14:00 – 15:30 Casos de estudios nacionales (trabajo en grupo dirigido). Se considera trabajar con los sitios caracterizados en el proyecto de "Validación de DEPOMOD", de POCH Ambiental. • Dr. Thom Nickell, Investigador SAMS, Escocia.
- 15:30 – 15:45 Coffe break.
- 15:45 – 17:30 Casos de estudio nacionales (trabajo en grupo dirigido). Se considera trabajar con los sitios caracterizados en el proyecto de "Validación de DEPOMOD", de POCH Ambiental. • Dr. Thom Nickell, Investigador SAMS, Escocia.

- 09:00 – 11:00 Casos de estudios nacionales (trabajo en grupo dirigido). Se considera trabajar con los sitios caracterizados en el proyecto de "Validación de DEPOMOD" ejecutado por POCH Ambiental. • Dr. Thom Nickell, Investigador SAMS, Escocia.
- 11:00 – 11:15 Coffe break.
- 11:15 – 12:45 Casos de estudios nacionales (trabajo en grupo dirigido). Se considera trabajar con los sitios caracterizados en el proyecto de "Validación de DEPOMOD", ejecutado por POCH Ambiental. • Dr. Thom Nickell, Investigador SAMS, Escocia.
- 13:00 – 14:00 Almuerzo.
- 14:00 – 15:30 Estado del desarrollo de Investigación en el mejoramiento del programa en Escocia (Sulfuro como variable indicadora de contaminación marina, modelos hidrodinámicos, etc). • Dr. Thom Nickell, Investigador SAMS, Escocia.
- 15:30 – 15:45 Coffe break.
- 15:45 – 16:30 Validación y/o mejoramiento del modelo en Chile. • Dr. Thom Nickell, Investigador SAMS, Escocia.
- 16:30 - 17:30 Ronda de preguntas y discusión.



INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO / DIVISIÓN DE INVESTIGACIÓN EN ACUICULTURA



AGENDA PROPUESTA · TALLER
“EXPERIENCIA INTERNACIONAL EN LA APLICACIÓN
DE DEPOMOD PARA LA ACUICULTURA”

Organiza:
División de Investigación en Acuicultura

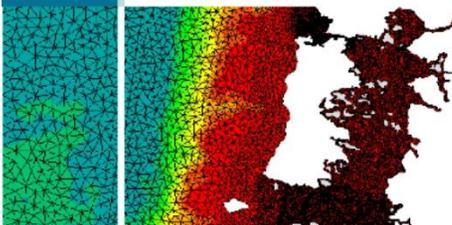
INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO • www.ifop.cl
ALMTE, MANUEL BLANCO ENCALADA 839, VALPARAÍSO, CHILE | TEL: (56-32) 2151500 - FAX: (56-32) 2151645

7 al 11 enero de 2013, Viña del mar
Hotel B.W. Marina del Rey · Viña del Mar



Jueves 10 de enero

Est3ndares de regulaci3n ambiental
en la industria acuic3la en Canad3.



Viernes 11 de enero

Est3ndares de regulaci3n ambiental
en la industria acuic3la en Canad3.



- 09:00 – 09:45 Presentaci3n “Regulaci3n Acuic3la en Chile”, SUBPESCA.
• Sr. Cristian Acevedo, Subsecretaria de Pesca.
- 09:45 – 11:00 Introducci3n DEPOMOD.
• Dr. Fred Page, DFO-Canad3.
- 11:00 – 11:15 Coffe break.
- 11:15 – 12:00 Antecedentes generales de la industria acuic3la en Canad3.
• Dr. Fred Page, DFO-Canad3.
- 12:00 – 13:00 Regulaci3n de la industria acuic3la en Canad3.
• Dr. Fred Page, DFO-Canad3.
- 13:00 – 14:00 Almuerzo.
- 14:00 – 15:30 Desarrollo del DEPOMOD y AutoDEPOMOD, como herramientas para la regulaci3n en Acuicultura.
• Dr. Fred Page, DFO-Canad3.
- 15:30 – 15:45 Coffe break.
- 15:45 – 16:30 Experiencias en el uso del DEPOMOD sobre el potencial impacto en la industria Acuic3la en Canad3.
• Dr. Fred Page, DFO-Canad3.
- 16:30 – 17:30 Ronda de preguntas y discusi3n.

- 09:00 – 09:45 Casos de estudio del uso del DEPOMOD en Canad3.
• Dr. Fred Page, DFO-Canad3.
- 09:45 – 10:30 Ventajas y limitaciones del programa.
• Dr. Fred Page, DFO-Canad3.
- 11:00 – 11:15 Coffe break.
- 11:15 – 13:00 Desarrollo y/o mejoramiento actual del DEPOMOD en Canad3 (Sulfuros y modelos hidrodin3micos, entre otros).
• Dr. Fred Page, DFO-Canad3.
- 13:00 – 14:00 Almuerzo.
- 14:00 – 15:30 Validaci3n y/o mejoramiento del modelo en Chile.
• Dr. Fred Page, DFO-Canad3.
- 15:30 – 15:45 Coffe break.
- 15:45 – 17:30 Ronda de preguntas y discusi3n.

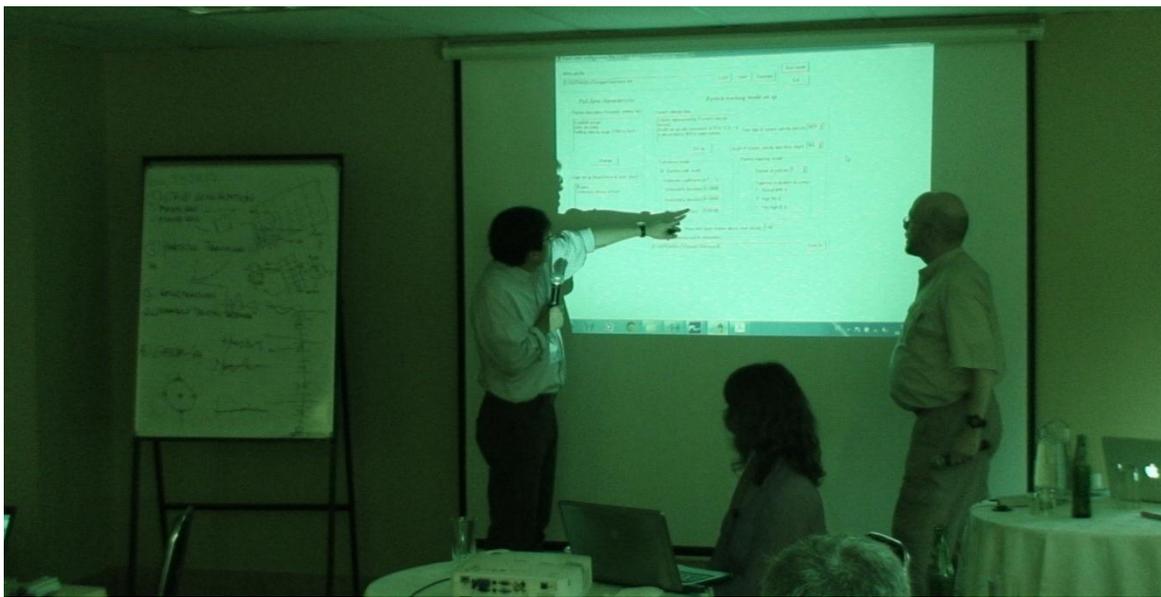
Diseño • Carolina Izamizabal • Secci3n Ediciones y Producci3n • IFOP

A N E X O 3

Fotos Taller.













A N E X O 4

Presentaciones y literatura asociada a Taller (en CD)



Anexo 4.

Carpetas con presentaciones y referencias bibliográficas.



A N E X O 5

Actividad práctica en el uso de DEPOMOD.



DESCRIPCIÓN DE LOS MÓDULOS COTENIDOS EN DEPOMOD, SEGÚN LA DEMOSTRACIÓN DE SU USO EN EL TALLER EL DÍA MARTES 8 DE ENERO DEL 2013

1. MÓDULO GENERACIÓN DE LA GRILLA (GRID GENERATION MODULE)

En “Number representing cage symbol” se debe poner un 4 si las jaulas son cuadradas o un 11 si las jaulas son circulares. Se debe corroborar que el cuadro de diálogo que dice “minor grid”, diga “OK” y esté la letra en color verde, de lo contrario (si está en rojo, se deben ir bajando de uno en uno los valores que aparecen en “minor grid dimensions” tanto para “number of grid cell (columns)”, como para “number of grid cells (row)”.

Input data configuration file: C:\DEPOMOD\2\Gridgen\Site\input.cfg

Major grid file: C:\DEPOMOD\2\Gridgen\Site\major.dat [Load] [Edit depth array] [Run Model] [Exit]

Minor grid file: C:\DEPOMOD\2\Gridgen\Site\minor.dat [Save As] [View]

Major grid dimensions - this grid covers the maximum area of interest

Number of grid cells (columns): 11 Length of each column (m): 110.0 Major grid size = 1210 m by 1000 m

Number of grid cells (rows): 10 Length of each row (m): 100.0

Major grid columns and rows can be adjusting by clicking Edit or New depth array

Minor grid dimensions - this grid can zoom in on a particular area on the major grid

Number of grid cells (columns): 39 Length of each column (m): 25.0 Minor grid size = 975 m by 975 m

Number of grid cells (rows): 39 Length of each row (m): 25.0

Minor grid origin on major grid (i): 1 Minor grid origin on major grid (j): 1

Minor grid status: OK

Cage position information

Number of cages: 30

Specified cage positions between (033,085) and (082,051)

[Change]

Sampling station information

Number of sampling stations: 20

[Change]

Contouring options

Output x y z files for contouring Write position of stations and nodes to file

Use comma separated output Number representing cage symbol: 5



Al pinchar “Cage position information”, se despliega la siguiente ventana. En ella debemos detallar el n3mero de jaulas y la posici3n de las jaulas (x e y), se hace “Accept Data”.

Cage	x(m)	y(m)	Cage	x(m)	y(m)	Cage	x(m)	y(m)
1	253	750	8	297	750	15	539	530
2	264	740	9	308	740	16	517	590
3	275	730	10	319	730	17	528	580
4	286	720	11	495	570	18	539	570
5	297	710	12	506	560	19	550	560
6	275	770	13	517	550	20	561	550
7	286	760	14	528	540			

En la ventana principal, al pinchar “Sampling station information”, se despliega la ventana que se muestra a continuaci3n, y en ella se describe la ubicaci3n de las estaciones de muestreo.

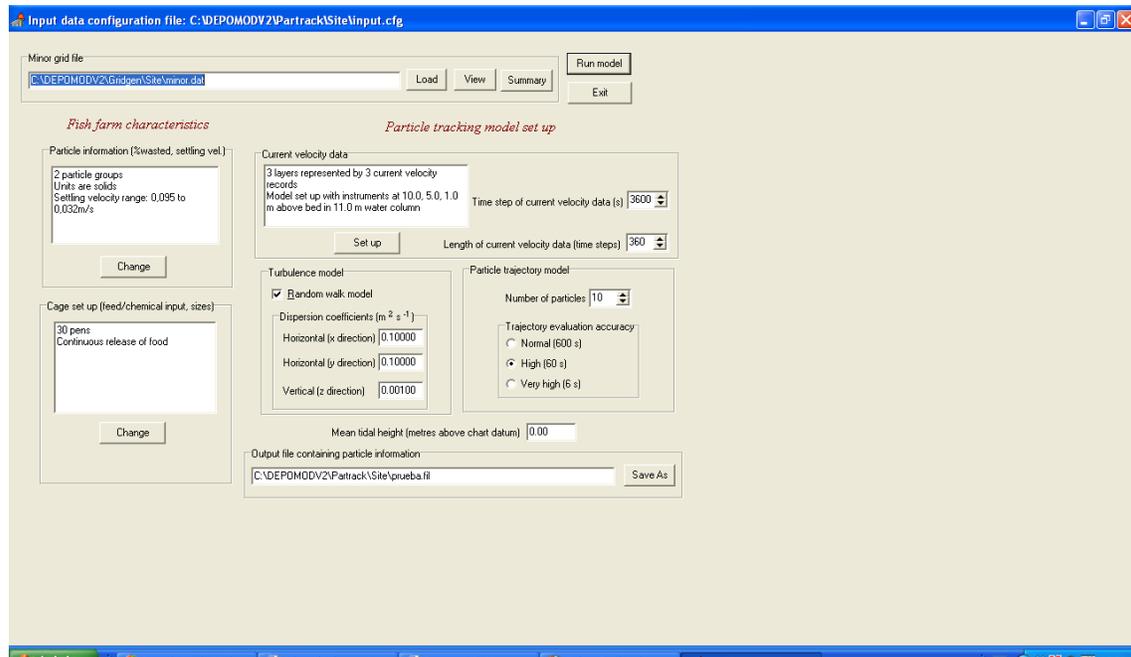
Station	x (m)	y (m)	Station	x (m)	y (m)	Station	x (m)	y (m)
S1	528	560	stain	0	0		0	0
S2	550	540		0	0		0	0
S3	572	520		0	0		0	0
S4	594	500		0	0		0	0
S5	781	400		0	0		0	0
S6	803	380		0	0		0	0
S7	825	360		0	0		0	0

Una vez ingresado todos los datos requeridos en la ventana principal del “Grid Generation Module” se hace click en “RUN MODEL”, en el cuadro de di3logo siguiente que aparecer3 se debe marcar la opci3n “YES”.

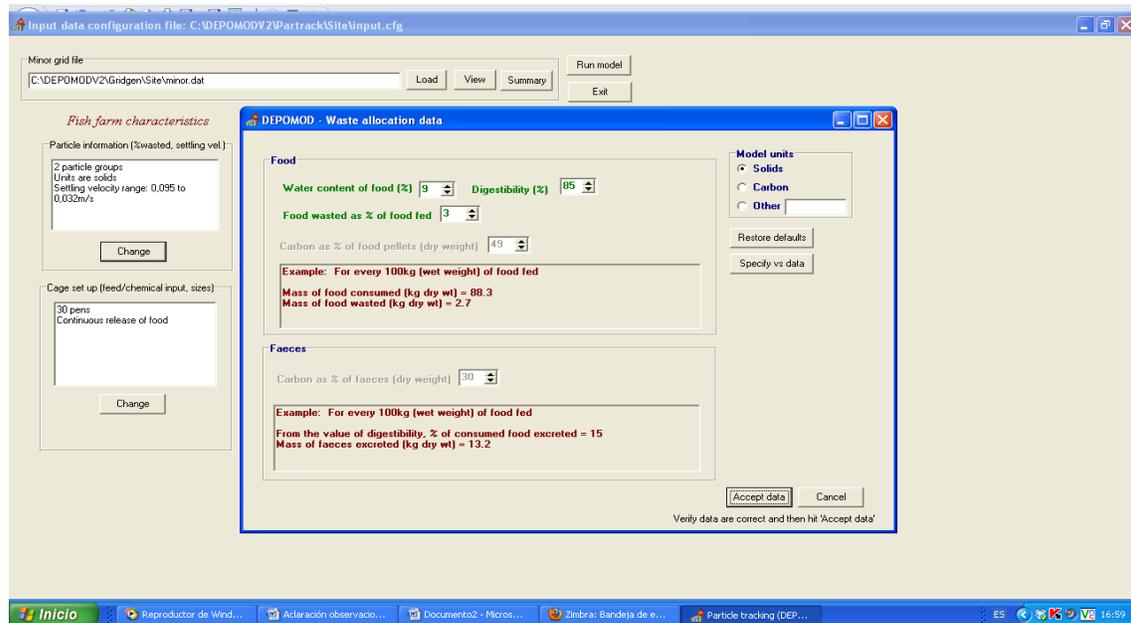


2) MÓDULO TRAYECTORIA DE PARTÍCULAS (PARTICLE TRACKING MODULE)

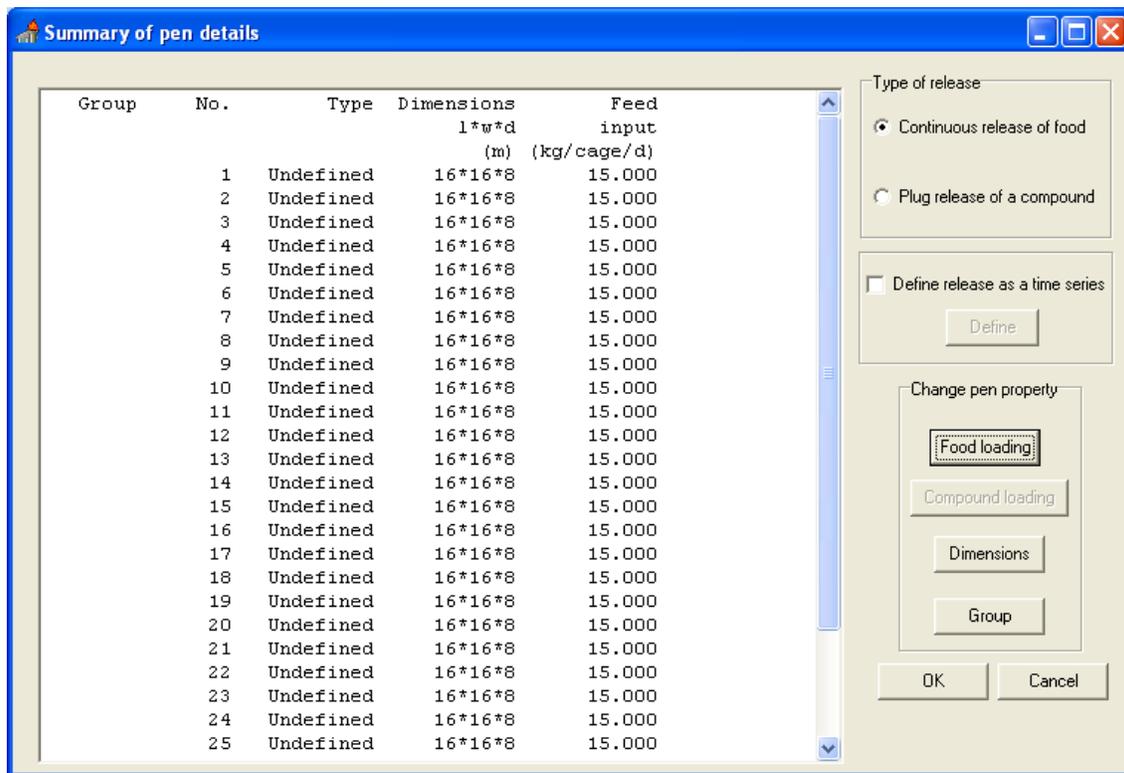
La ventana principal que se desplegará es la siguiente. Se hace mención que primeramente se debe hacer todo el procedimiento para sólidos totales, y luego realizar lo mismo para Carbono total.



En primer lugar ingresaremos los correspondientes a: “Fish farm characteristics”/particles information. En la siguiente ventana se deben describir primeramente las características del alimento: Contenido de agua en el alimento (Water Content of food), Digestibilidad (digestibility), y porcentaje de desecho del alimento (Food Wasted as % of food feed). Luego se describe la cantidad de fecas. Es importante tomar en cuenta los datos reales que debieran proveer las empresas acuicultoras, o en su defecto empresas productoras de alimento.



Luego, y al ingresar nuevamente a: “Fish farm characteristics”, pero esta vez a “Cage set up”, se detalla el número de jaulas y sus dimensiones correspondientes, además de la cantidad de alimento suministrado por día. Cabe mencionar que en esta ventana se puede incorporar datos de Emamectina incorporado en el alimento.



Al hacer click en “Food Loading”, se ingresa el alimento suministrado por d3a por jaula durante un ciclo de producci3n m3xima (A), el c3lculo se realiza con la siguiente f3rmula.

$$A = B * 1.25$$

N3 jaulas*d3as de un ciclo

Donde:

B: biomasa m3xima a cosechar (Kg) (lo sealado en 3ltimo a3o del proyecto t3cnico)

1.25: Factor de conversi3n

D3as de un ciclo: depende del tama3o de los peces, por lo tanto ser3 el n3 de meses que dure el ciclo*30 (que son d3as de un mes).

Al pinchar en la ventana anterior “Food Loading”, se abre una nueva ventana en donde existe la posibilidad de, en caso que la cantidad de alimento por cada jaula sea distinta, detallar cada cantidad de alimento espec3fico por jaula, en caso contrario marcar la opci3n “Feeding rate constant for all cages” y luego hacer click en “Accept data”.



Luego, en la opci3n “Dimensions”, las dimensiones de cada jaula pueden ser modificadas en la siguiente ventanilla, adem1s de se1alar el tipo de jaula, ya sea circular o rectangular.

En “Cage Type” se debe marcar la forma de la jaula (circular o rectangular)

En “Specify” se va marcando:

- “lengh” (largo) y se coloca el n1mero en “Dimensions”
- “withd” (ancho) y se coloca el n1mero en “Dimensions”
- “depht” (profundidad) y se coloca el n1mero en “Dimensions”

Luego “Accept Data”.



The screenshot shows the 'Cage data' window with a table of 30 cages and configuration options. The table has columns for Cage number and Dimensions Diameter(m). The configuration options include Cage type (Circular or Rectangular), Cage axis (degrees T, Diameter (m), or Depth (m)), and a checkbox for 'Dimensions same for each cage' with a value of 16.0 in a text box. There are also buttons for 'Accept data', 'Cancel', and 'Update links'.

Cage	Dimensions Diameter(m)	Cage	Dimensions Diameter(m)	Cage	Dimensions Diameter(m)
1	16.0	11	16.0	21	16.0
2	16.0	12	16.0	22	16.0
3	16.0	13	16.0	23	16.0
4	16.0	14	16.0	24	16.0
5	16.0	15	16.0	25	16.0
6	16.0	16	16.0	26	16.0
7	16.0	17	16.0	27	16.0
8	16.0	18	16.0	28	16.0
9	16.0	19	16.0	29	16.0
10	16.0	20	16.0	30	16.0

Como lo indica la siguiente figura, al pinchar la opci3n "Group" tambi3n existe la posibilidad de agrupar las jaulas seg3n ubicaci3n de las jaulas, tipo de alimento, cantidad de alimento suministrado, etc, lo que depender3 de las caracter3sticas del centro de Acuicultura.

The screenshot shows the 'Cage data' window with a table that has columns for Cage and Group. The table has 30 rows, with the first row having a value in the Group column. There are buttons for 'Accept data', 'Cancel', and 'Update links'.

Cage	Group	Cage	Group	Cage	Group
1	Group	11		21	
2		12		22	
3		13		23	
4		14		24	
5		15		25	
6		16		26	
7		17		27	
8		18		28	
9		19		29	
10		20		30	

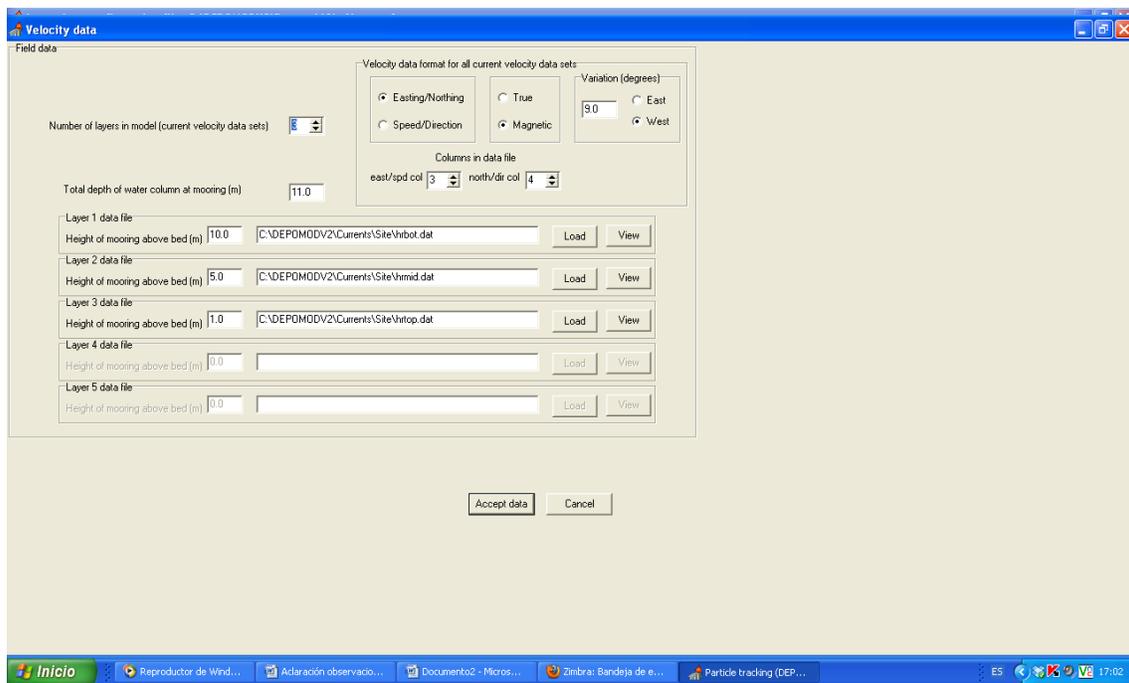


Luego, al ingresar a la página principal “Particle tracking model set up”, específicamente a “Current velocity data”, se despliega la siguiente figura, en la cual se requieren los datos de corrientes.

Las capas de la correntometría se deberán cargar en orden inverso, es decir, para el DEPOMOD, la capa 1 será la más profunda y la 5 la más superficial.

Donde dice “Numbers of layers in model”, para las correntometrías que se realizaron en forma mecánica se ingresa una capa, mientras para correntometría Doppler un máximo de 5 capas.

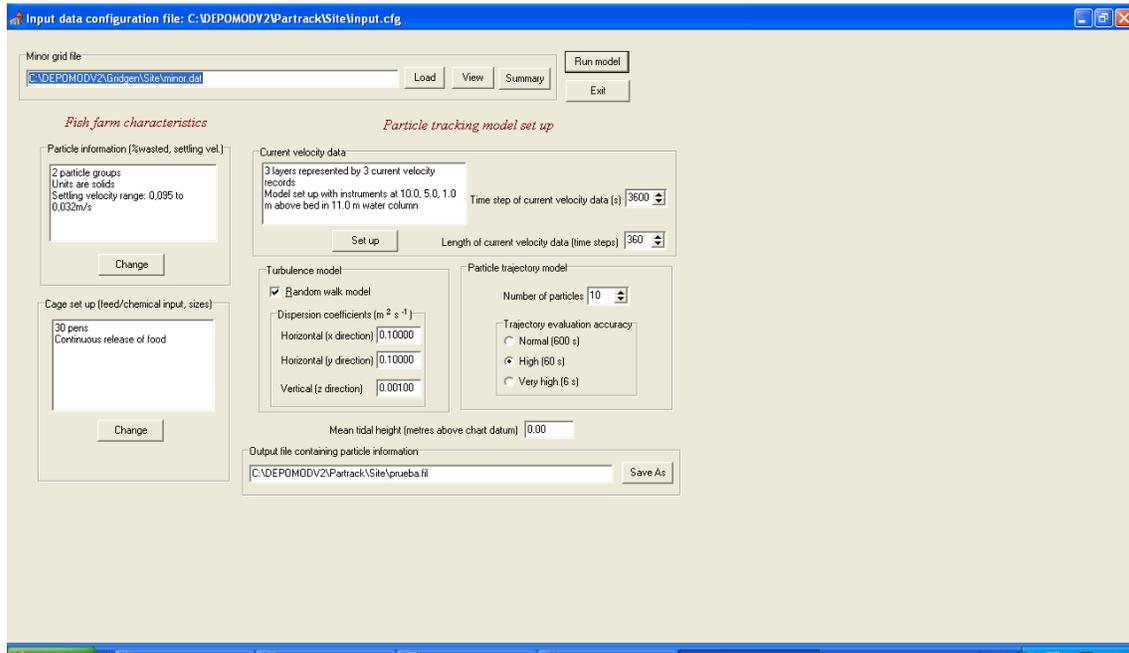
A continuación, se importa desde Excell una correntometría realizada para el sector y se seleccionan los datos crudos de velocidad y dirección.



Una vez que se han ingresado todos los datos, y haber puesto “Accept data”, se abre nuevamente la siguiente ventana que contiene ya toda la información, haciendo correr el modelo con “Run Model”.

Se deben tener las siguientes consideraciones:

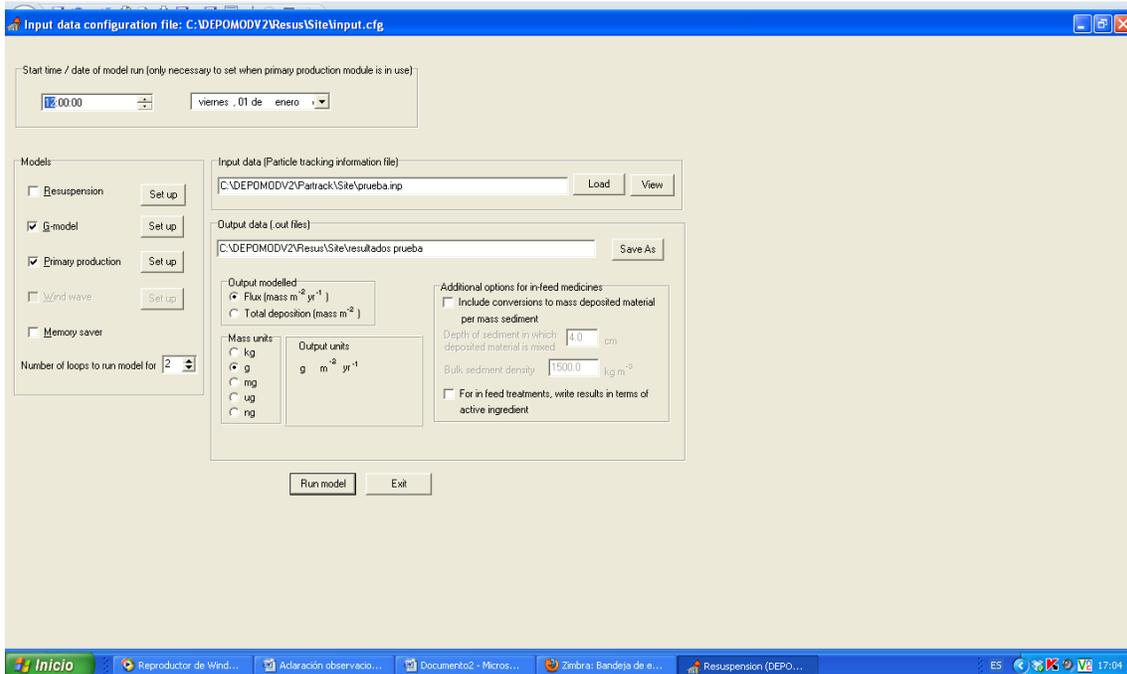
- 1) En “lenght of current velocity data”, se coloca el número total de perfiles o datos medidos en cada capa (una correntometría de 24 horas tiene aprox. 146 datos),
- 2) En “time set up current” se coloca el intervalo de medición de las corrientes, en el caso de las realizadas bajo la 3612 es cada 600 seg (10 min).





3) M3DULO RE-SUSPENSI3N DE PARTÍCULAS (RESUSPENSION MODULE)

Aquí se desplegará la siguiente ventana, y en donde llamamos el archivo creado anteriormente para "Partrack total solid" desde "Input data". Luego se selecciona la opci3n Kg en "Mass Units", y se guarda el archivo en Output data. Es importante mencionar que si los datos de correntometría son superiores a 9.5cm/s, la re-suspensi3n es tal, que el modelo no puede seguir la ruta del carbono, por lo que en ese caso no se realiza el ejercicio de la Re-suspensi3n.



Una vez corrido el modelo se ha finalizado con el proceso de modelaci3n en DEPOMOD, y ahora debemos llevar esta modelaci3n a una gráfica, la cual se realiza mediante el programa Surfer 8.

Una vez finalizado el análisis de los Sólidos totales, se procede a realizar la modelaci3n de Carbono total, la cual es más corta debido a que ya tiene los archivos base creados, por lo cual no hay que utilizar el módulo DEPOMOD GRID GENERATION MODULE, y se deberá ir directamente al módulo DEPOMOD llamado PARTICLE TRACKING MODULE, haciendo click en el menú: "Run/Particle Tracking", y hacer los mismos pasos que se han detallando anteriormente.



GROWHT AND BIOMASS MODEL (GaBOM)

DEPOMOD es utilizado para pronosticar la deposición de sólidos en relación a un tiempo definido, GaBOM puede ser usado para predecir la cantidad de alimento suministrado en un tiempo particular en un ciclo productivo de salmónidos. GaBOM ha sido desarrollado como un módulo separado de "Particle tracking module" y se hace correr de forma separada. El usuario puede usar los datos del GaBOM e introducirlos al DEPOMOD.

En la siguiente ventana se debe detallar las características del centro con acuicultura, como por ejemplo la biomasa en toneladas, la fecha de inicio del cultivo, la duración del ciclo productivo en meses, el número de meses, las funciones de crecimiento y mortalidad del pez, número inicial de peces, tasa de conversión del alimento, y tipo de cosecha.

A N E X O 6

Carta Gantt Experiencia Internacional DEPOMOD.



MES	SEMANA	DÍAS
Julio	Semana 1	18 al 20
	Semana 2	23 al 27
	Semana 3	30 al 31
Agosto	Semana 1	1 al 3
	Semana 2	6 al 10
	Semana 3	13 al 17
	Semana 4	20 al 24
	Semana 5	27 al 31
Septiembre	Semana 1	3 al 7
	Semana 2	10 al 14
	Semana 3	20 al 21
	Semana 4	24 al 28
Octubre	Semana 1	1 al 5
	Semana 2	8 al 12
	Semana 3	16 al 19
	Semana 4	22 al 26
	Semana 5	29 al 31
Noviembre	Semana 1	5 al 9
	Semana 2	12 al 16
	Semana 3	19 al 23
	Semana 4	26 al 30
Diciembre	Semana 1	3 al 7
	Semana 2	10 al 14
	Semana 3	17 al 21
	Semana 4	24 al 28
Enero	Semana 1	1 al 4
	Semana 2	7 al 11
	Semana 3	14 al 18
	Semana 4	21 al 25
	Semana 5	28 al 31
Febrero	Semana 1	4 al 8
	Semana 2	11 al 15
	Semana 3	18 al 22
	Semana 4	25 al 28

A N E X O 7

Conclusiones grupales Taller DEPOMOD.



CONCLUSIONES GRUPALES TALLER “EXPERIENCIA INTERNACIONAL EN LA APLICACIÓN DE DEPOMOD PARA LA ACUICULTURA”.

Viernes 11 de enero del 2013, Viña del Mar

- 1) Se concluye que en Chile se ha utilizado el programa por más de 6 años, en el marco de la regulación de la acuicultura, y en donde se ha utilizado el programa sin validación alguna en sitios nacionales. Se sugiere o recomienda que para la implementación del programa en sitios con acuicultura a nivel nacional, se debe primeramente validar un número representativo de concesiones con diversas características ambientales, pero no olvidar que el desarrollo y la validación de este modelo es para sitios con fondos blandos y de baja a moderada dispersión, además de un flujo laminar.
- 2) Se considera importante clarificar en primera instancia qué es lo que se pretende con la implementación del modelo en Chile, tal como en Escocia para seleccionar un sitio de cultivo. Se requiere de una herramienta objetiva para ser utilizado y validado por el sector productivo.
- 3) La experiencia escocesa demuestra que el desarrollo, validación e implementación de DEPOMOD es en sitios de cultivo con características de flujo laminar, tipo de sedimento fino, y tipología no rugosa.
- 4) Las aproximaciones escocesas y canadienses en el uso del DEPOMOD son diferentes: Escocia aplica esta herramienta para la selección de sitios, sitios asociada a la cantidad de biomasa a producir por concesión, mientras que en Canadá es una herramienta de apoyo para evaluar el potencial impacto de la acuicultura, específicamente en la provincia de British Columbia, y se sustenta sobre la base de datos existentes.
- 5) La regulación de Escocia y Canadá se basan variables ambientales de diferente orden: en Escocia se aplica el ITI, mientras que en Canadá la variable sulfuros. Por tanto, se reitera la necesidad de caracterizar y validar los criterios e índices que expliquen de mejor manera el estado ambiental de cada concesión en Chile.
- 6) Para la situación chilena es necesario evaluar cuáles son las oportunidades en las que el programa puede ser utilizado, y en aquellas que el programa no muestra buenas predicciones, se debe evaluar la factibilidad de modificarlo, aplicar otro modelo, o acoplar un módulo u otro modelo al DEPOMOD.
- 7) El modelo DEPOMOD se aplica a nivel local, por tanto el tamaño de grilla es un factor limitante a la realidad de la acuicultura nacional.
- 8) Se considera de gran relevancia la caracterización de las diferentes zonas con acuicultura en Chile, tales como la capacidad de carga, tiempo de residencia, caracterización de la sedimentología, y los tiempos de sedimentación, entre otros. Esto, debido a que existe un sesgo importante en la caracterización ambiental de zonas con acuicultura a nivel nacional.
- 9) El grueso del modelo no se puede cambiar ni va a cambiar, pero sí la parametrización.



- 10) Se hacen las siguientes recomendaciones: necesidad de ejecutar una batimetría más detallada, así como la corrección de las mareas, y estudios de re-suspensión. En el caso específico de la re-suspensión, en el proceso de desarrollo del modelo se demostró que una velocidad de la corriente de 9.5cm/s a pocos centímetros del fondo, genera re-suspensión, de tal forma que, la partícula no vuelve a asentarse en el mismo lugar. Por ello, el modelo no puede predecir la ruta del carbono total a velocidades superiores a la indicada. Es decir, para validar el modelo a la realidad de Chile, se debe contar con los datos de velocidad de corrientes a poca distancia del fondo marino o disponer de valores exponenciales de las capas superiores, tal como lo hizo Escocia. En Chile, los datos de correntometría a mayor profundidad, se obtienen entre 1 a 2 m del fondo, lo que indica que se deben realizar experimentos de re-suspensión a escasos centímetros del fondo, ya sea a nivel de laboratorio o meso-escala. Se propone la incorporación de tecnología que permita estas mediciones de fondo, como por ejemplo ADCP, entre otros. También se considera importante el modo de configuración del ADCP en diferentes capas de temperaturas, requiriéndose un grado de experiencia en el uso de estos instrumentos, así como el conocimiento de coeficiente de dispersión por capas.
- 11) Se sugiere una estrecha relación y colaboración con profesionales de Escocia y Canadá, países con amplio conocimiento, desarrollo y aplicabilidad del modelo DEPOMOD.
- 12) Desarrollo de un manual operacional del DEPOMOD, adaptándonos a nuestra realidad, para poder estandarizar estas aplicaciones a nuestra medida, además de capacitación a los usuarios (consultores, entes regulatorios).
- 13) El cambio cualitativo de la incorporación de modelos matemáticos que nos expliquen las capacidades de carga de sitios de cultivo, nos entregan la realidad que existe gran deficiencia de información, por lo que debemos trabajar, investigar y desarrollar proyectos para implementar y complementar información necesaria para la toma de decisiones.
- 14) Eventual uso de un modelo en fármacos. Estos presentan la oportunidad de servir como “trazadores” que permitirán eventualmente evaluar la calidad de las predicciones del modelo, por cuanto es posible identificar dichos fármacos en el fondo marino y evaluar la exactitud de las predicciones realizadas.



INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO

Sección Ediciones y Producción

Blanco 839, Fono 56-32-2151500

Valparaíso, Chile

www.ifop.cl



www.ifop.cl