

PREDICCIÓN INTEGRADA DEL MEDIO AMBIENTE MARINO

REQUERIMIENTOS DE LOS USUARIOS, ORGANIZACIÓN, MEDIOS Y SISTEMAS DE SERVICIOS

Por Johannes GUDDAL*

Preámbulo

Este artículo trata de los problemas de organización de la predicción oceánica operativa, incluyendo los parámetros físicos, químicos y biológicos del océano.

La predicción oceánica operativa depende del "establecimiento meteorológico"; tiene sus propios problemas internos de organización, científicos y logísticos, y su grupo propio de usuarios finales. Además, es muy probable que, por ser un tipo nuevo de servicio, tenga que mantenerse con una "financiación híbrida", es decir, una financiación limitada del gobierno apoyada por los ingresos comerciales obtenidos de los usuarios finales.

Introducción

Los recientes adelantos de la observación y la modelización del océano, han facilitado la organización de centros operativos de vigilancia oceánica en varios países. Además de los actuales servicios de vigilancia/predicción (V/P) meteorológicos marinos, se han añadido nuevos y desafiantes componentes:

- V/P del océano físico, como olas, oleadas, corrientes, hielos, temperatura y salinidad:
- V/P de la calidad del agua, como la de los nutrientes, la de las concentraciones de metales pesados, etc:
- V/P de emergencia en episodios que amenazan la vida dentro de, o en proximidad del mar —algas tóxicas, vertidos de petróleo,



- ▲ Limpiando después de un derrame de petróleo en el oeste de Noruega: la información meteorológica es una valiosa ayuda
Fotos: Helge Sunde



etc.:

- Predicciones climatológicas oceánicas, en

* Del Instituto Meteorológico de Noruega y presidente del grupo de trabajo sobre problemas técnicos de la OMM y la CMM.

particular para identificar las influencias antropogénicas en el clima del océano.

Todos estos nuevos temas tienen en común la fuerte dependencia del aporte de información meteorológica bien definida, y tienen en cierto modo una coexistencia interactiva. Esto quiere decir que los nuevos servicios deben organizarse en estrecha cooperación con los servicios meteorológicos, y que se necesita un enlace bien definido y consistente entre los mismos nuevos componentes.

Así, aunque muchos de los nuevos componentes estén desarrollados, individualmente, a un nivel alto, surgen nuevos problemas en la organización y desarrollo totales de los servicios de V/P oceánicos totalmente integrados.

Aproximación al problema de organización

Cuando los recursos de financiación son limitados, será posible establecer una organización que cubra, en la medida de lo posible, el amplio campo de servicios y disciplinas, que abarcan desde:

- V/P de la meteorología oceánica convencional, a la
- V/P de olas, oleadas, corrientes. etc.. a la
- V/P de la calidad del agua, a la



Las algas tóxicas son una amenaza para las piscifactorías como esta de Bergen, Noruega

Foto: Helge Sunde

- V/P de casos de emergencia, etc, a
- Predicciones climatológicas.

De antemano, sin embargo, hay que analizar algunos ejercicios obligatorios:

- Los requerimientos de los usuarios, puesto que los usuarios ya no son sólo receptores de boletines meteorológicos convencionales;
- Procedimientos para relacionarse con los usuarios y hacer intercambios con ellos;
- Esquemas/diagramas de estructura para ilustrar el enlace lógico y la interacción entre los componentes del sistema de servicio;
- Modelos de transferencias internas de dinero para estimular a la organización en la nueva situación de financiación híbrida.

El segmento usuario

La investigación de los requerimientos de los usuarios es una tarea difícil, pero se hace más fácil en presencia de un interés coordinado industrial, así como en países con organizaciones de protección del medio ambiente bien estructuradas. El pleno reconocimiento de la importancia de los productos de predicción nunca se conseguirá sin el apoyo de sectores importantes de la sociedad y sin un intercambio con ellos.

Al planificar el Sistema de Vigilancia Oceánica (SVO) de Noruega, fueron entrevistados algunos de los principales grupos de usuarios, parte de los cuales manifestaron importantes requerimientos de las predicciones. También sirvieron como ejemplos de orientación para la organización futura de la predicción, su selección de los productos de predicción y su relación con los usuarios.

Los principales grupos de usuarios comprenden la exploración y producción de petróleo en las plataformas marinas, las organizaciones pesqueras, el cultivo de pescado en la costa, la protección del medio ambiente, etc. Su sensibilidad a los fenómenos oceánicos

Requerimientos de los usuarios marinos por tipo de usuario, cantidad, primera y segunda prioridad, frecuencia/resolución/alcance, modo de difusión

Grupo/categoría	Tipo de usuario	Unidades operativas	Elementos de primera prioridad	Elementos de segunda prioridad	Frecuencia/Resolución cronológica/resolución espacial, alcance	Formatos transmisión
AUTORIDAD DE VIGILANCIA DE LA CONTAMINACION	2	10	Contaminación	Viento, olas	2/6/10/120	Tfax
Tendencias	—	—	Condiciones biológicas		aumentar alcance	D-L
CULTIVOS ACUATICOS	1	250	Temperatura del mar, salinidad, corrientes	Viento, olas	2/6/1/120	D-L
Tendencias	—	300	Contaminación	Contaminación del aire		
AUTORIDAD PESQUERA, PESQUERIAS	2	300	Viento, olas, visibilidad	Corrientes Engelamiento	En el mar 2/6/50/120	BC Tfax.
Tendencias	1	—	Biología, TSM, hielo		En la costa 4/3/5/48	
DEFENSA	2	50	Viento, olar	Hielo, meteorología	2/6/50/120	BC/TX Tfax. D-L
Tendencias	—	—	Acústica	Contaminación		
INDUSTRIA DEL PETROLEO	2	100	Olas, viento	Meteorología general; coincidencia de viento/marejada	2/6/25/120	TX Tfax D-L
Tendencias		120	hielo (témpanos)			
NAVEGACION PUERTOS	2	500	Viento, olas	Hielo, corrientes	En el mar 2/6/50/120 En el interior costa 4/3/5/48	BC/TX Tfax
Tendencias	¿1?		Oleaje	Olas interiores		D-L
SEGUROS	2	X	Viento olas	Contaminación	Indefinido	BC Tfax D-L
Tendencias	—	—	Oleaje			
SALVAMENTO	2	25	Olas, viento	Niebla, temperatura	2/6/50/48	BC/TX
Tendencias	—	—	Corrientes, hielo			
INSTITUCIONES DE INVESTIGACION	2	25	Olas, viento	Niebla, tempera-	2/6/50/48	BC/TX D-L
Tendencias	—	—	Contaminación/ Biología			

Notas: Tipo de usuario 2: Usuario final. Tipo de usuario 1: Combinado con sistemas de valor añadido

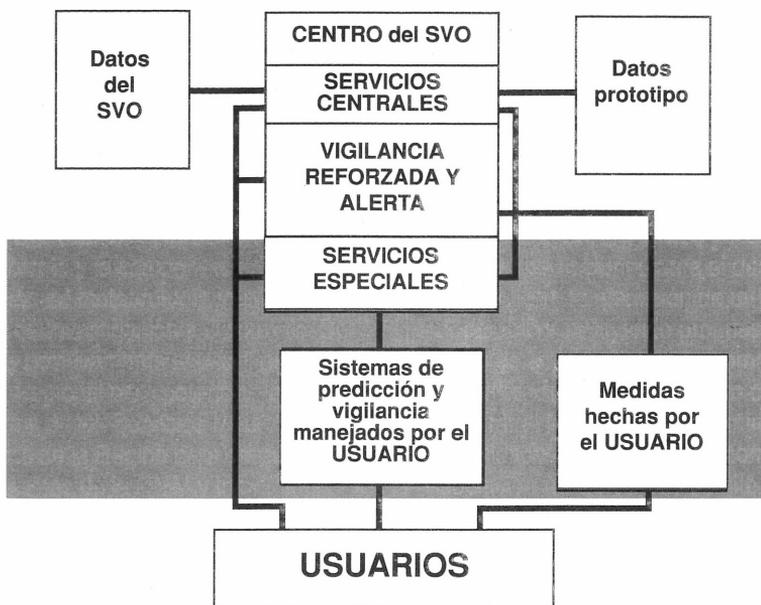


Diagrama de la organización del Sistema de Vigilancia Oceánica

crea problemas tanto en el diseño y la planificación como en las operaciones rutinarias, de modo que muchas compañías han tomado sus propias medidas para vigilar el medio ambiente oceánico. Estos usuarios difieren de los usuarios finales porque aplican sistemas para añadir valor teniendo capacidad de refinar los datos convencionales del SVO para aplicaciones más locales o específicas.

El cuadro de la página anterior da una idea general de los requerimientos de los usuarios marinos, como se encuentran en Noruega. En este cuadro, se ha tratado de identificar tanto las necesidades actuales como las tendencias previstas en función del contenido, frecuencia y modos de difusión de las predicciones, y de la tendencia del grupo de usuarios a introducir sistemas para añadir valor.

El sistema interactivo de servicio al usuario

Organización

La figura de esta página muestra la organización del SVO, en la que el elemento de servicio

central posee un banco de datos en tiempo real completo de medidas y campos de modelos numéricos. Los productos de predicción de salida pueden:

- Llegar al usuario final directamente, como servicio básico, sin implicar coste para el usuario final:
- Pasar por el servicio interno de potenciación



Predicciones de parámetros físicos tales como las olas del océano están entre los productos que demandan los usuarios finales

Foto: Helge Sunde

LINEA1 MODELOS NUMERICOS ORGANIZADOS EN CADENA Superordenadores, esteras zonas, resolución moderada	MODELO ATMOSFERICO	OLAS	CORRIENTES	DERIVA	MODELOS DEL MEDIO AMBIENTE Y ECOLOGICOS
		OLEAJE	Temperatura del mar	OIL	
			Salinidad	Metales pesados	
			Hielo	Biomasa	
LINEA 2 PROVISION DE DATOS MUESTREO TRANSMISION ASIMILACION CONTROL DE CALIDAD	Datos del SMT	Boyas lejos de la costa y radares	Datos MRI Instrumentos prototipo Sensores acústicos	SFT (SPC) datos de transmisión de boya datos de vigilancia vuelo	Otras disciplinas científicas
	Imágenes de satélite	estaciones NSKV Geosat			
NRS (Centro Espacial Noruego) EPS-1 etc.: Viento, olas, escenarios					
LINEA 3 ESTACIONES DE TRABAJO CONTROL Y CONDUCCION AUMENTO DE VALOR	Vigilancia Corregir Anidación y ajuste	Vigilar Reiniciar Asimilar Anidar	Vigilar Reiniciar Filtrado de Kalman anidar	Vigilar Anidar Análisis del estado del océano Alerta	
LINEA 4 RELACIONES CON EL USUARIO Acomodación al usuario, difusión Evaluación del beneficio funcional	Público Industria	Autoridad Público Industrial	Autoridad Industrial Investigación	Autoridad Industrial Entes de vigilancia cooperación nórdica	Políticas Organizaciones Internacionales

Estructura principal del SVO

o refinamiento del SVO para cumplir con demandas más estrictas del usuario, con la consiguientes implicaciones de coste para el usuario;

- Someterse a sistemas de vigilancia y predicción operados por los usuarios, en los que se necesita una mayor adecuación al usuario, o se mezclan los datos del SVO con otros datos. En estos casos, se pueden hacer transacciones entre los datos que emite el SVO y los datos de vigilancia particulares que se reciban.

Estructura y ejecución

Para la función operativa del SVO, se ha adoptado una estructura que sirve para el emplazamiento de todos los componentes, tanto los que ya existen como los que van a ser desarrollados (ver la figura de encima). Hay cuatro "líneas de estructura" principales:

- Una línea de modelos numéricos "organizados en cadena", que van desde la modelización atmosférica a la oceánica hasta la modelización del medio ambiente



más completa uniéndose con la biología y la química marinas;

- Una línea de fuentes de datos de acuerdo con las disciplinas que se modelizan, incluyendo la compatibilidad entre los datos medidos y los de los modelos, su transmisión y asimilación;
- Una línea de vigilancia y orientación, incluyendo la intervención de expertos mediante potentes estaciones de trabajo con objeto de corrección de errores, anidado, añadir valor y adaptación al usuario;
- Una línea de comunicación con el usuario, para asegurar el beneficio funcional de los productos de predicción, su rápida difusión, y la eventual cooperación del usuario.

En la ejecución del SVO, debemos tener en cuenta que la línea 1 en particular requiere un ordenador central potente, y que los productos numéricos tienen una cobertura geográfica extensa, una resolución moderada y un alcance óptimamente aceptado en un sentido de prognosis. La línea de adquisición de datos debe considerarse como una combinación de datos de infraestructura convencionales, dispuestos para su asimilación en la línea 1, y datos más especiales cuyo objeto reside en aplicaciones más específicas y locales; dichos datos no son compatibles necesariamente con la línea 1. Estos conjuntos de datos especiales se aplican más bien en la línea 3, donde ya se ha mencionado el concepto de modelos

anidados.

La generación de un producto de información

Definición de un producto de V/P oceánico

Un producto, desde el punto de vista del productor, es:

- Un informe resumido e instructivo.
- Un informe de diagnóstico y de vigilancia, o
- Una predicción con antelación de 0-10 días, una predicción climatológica

de parámetros físicos (olas, oleadas, corrientes, etc), químicos (nutrientes y metales pesados) y biológicos (algas).

Desde el punto de vista del usuario, un producto es:

- Información de apoyo en las decisiones y la planificación;
- Información para ayudar a la seguridad y la economía de las operaciones;
- Medio para resolver los problemas dentro de estructuras más amplias.

Los parámetros o el contenido del producto aparecen como combinaciones de datos medidos y simulados por los modelos:

- Datos de medidas como productos en sí:

- Datos de modelos como productos en sí, por ej., predicciones;
- Presentaciones conjuntas de datos de los modelos y sus correspondientes datos de medida;
- Datos de modelos corregidos mediante datos de medidas;
- Datos de modelos influidos por la asimilación completa o modular de datos de medidas.

Funcionamiento conjunto de datos de modelos y medidas

La aplicación de datos de medidas combinados con modelos números puede ilustrarse por el diagrama de la pág. 152. El modelo se muestra como una caja con tres secciones principales:

- La parte de inicialización, en la que se inicializan los campos de los parámetros;
- La parte de simulación, en la que se calculan los parámetros físicos y en la que se introducen los campos de modulación;
- La parte de producción, en la que se entregan los resultados finales.

Mientras que los campos de modulación —es decir, los campos de viento que se usan para las simulaciones de las olas— sólo entran en la parte de simulación, los datos de medidas pueden utilizarse de diferentes maneras:

- Calibración o mejora de la parte de simulación del modelo llevada a cabo en la fase de desarrollo del modelo;
- Corrección de los campos que produce el modelo, en tiempo real;
- Asimilación en los campos iniciales, mediante técnicas de análisis objetivo.

En un modelo oceánico, que simula corrientes, temperaturas del mar y salinidad a diferentes profundidades, el término campo de modulación tiene un aspecto mucho más amplio. Un modelo oceánico que cubra una zona más extensa, estará sometido a una

modulación climatológica, así como a una modulación directa del viento, debido a que no están presentes para la inicialización los datos de medida adecuados.

Si examinamos la situación que tendríamos con un servicio de V/P oceánico totalmente integrado, podemos ilustrar el procedimiento con dos líneas estructurales principales:

- **Una cadena de modelos numéricos**, que van desde las características atmosféricas, pasando por las olas, las oleadas, las corrientes, etc., a las ramas biológicas y del medio ambiente, enlazados de modo que los campos de modulación son producidos por un modelo e insertados en el siguiente en el sentido de izquierda a derecha como en el diagrama de la página anterior;
- **Una cadena correspondiente de datos oceanográficos y biológicos** en la que los conjuntos de datos sirven para inicializar o modificar su correspondiente modelo.

Seguridad de la calidad y valor añadido

En principio, los productos V/P pueden generarse de modo totalmente automático por ordenador. En la realidad, sin embargo, siempre es necesario un control de calidad.

Con la compleja coordinación de varios modelos numéricos unidos entre sí en cadena, y un sistema de soporte de datos de medida muy fragmentado, la situación se hace difícil y aparecen varias fuentes de error nuevas.

Así pues, la tercera línea de nuestro diagrama de estructura es;

- **Una línea de control e intervención**, con la posibilidad de: (a) revelar fallos en la línea de producción; (b) intervenir con una base subjetiva en los campos directores; (c) cambiar la resolución del modelo, si es necesario; (d) introducir observaciones simuladas; (e) rechazar datos de medida aceptados en un principio; o (f) reintroducir algunos de los que habían sido rechazados en un principio.

En el Sistema de Vigilancia Oceánica actual,

esta línea la ejecuta una potente estación de trabajo que dispone de un conjunto completo de datos de medidas y modelos en tiempo real, de *software* de simulación de modelos para nuevas simulaciones limitadas y de distintos tipos de técnicas de intervención.

Adaptación al usuario y relaciones con él

El gerente de una organización de predicción, al encontrarse en la extraña situación de ser responsable de una organización de servicio híbrida, gubernamental a medias, se enfrenta a dos nuevos e importantes problemas:

- Establecer y mantener las relaciones comerciales que son necesarias para la "línea 4" de su organización, que de nuevo aporta "dinero fresco" para toda la organización;
- Distribución "hacia atrás" en la organización de los ingresos comerciales de la parte frontal de la organización de servicios, de modo que se estimulen partes importantes de la organización sin poner en peligro, así se espera, la financiación básica del gobierno.

En función de sus relaciones con los usuarios, los gerentes del servicio tendrán que actuar más como expertos profesionales en comercialización lo que, en muchos casos, será demasiado para un gerente seleccionado por sus antecedentes científicos o por un conocimiento del servicio operativo convencional. Así pues, en cierto modo, se necesitará la asistencia de un experto comercial. Sin embargo, a partir de la experiencia reciente, se pueden tener que adoptar algunas acciones, hasta por los no profesionales:

- Una explotación más completa de las relaciones actuales con los usuarios, dentro de los servicios convencionales, no comerciales, para identificar las áreas potenciales de servicios futuros, servicios ampliados;
- Identificación de, y asociación con,

consorcios industriales con sensibilidad específica a los fenómenos oceánicos;

- Organización de seminarios para los usuarios, con presentación de los productos actuales y los potenciales, inversiones en comercialización tales como productos preliminares, gratuitos, etc.

Estas actividades no requieren necesariamente una experiencia en comercialización, pero representan una carga suplementaria para el personal y los recursos antes de que se puedan establecer las relaciones más permanentes.

Características internas de los sistemas de servicio híbridos

Evidentemente, muchas naciones reconocen el escenario que se describe para las organizaciones de predicción:

- Una transición de los servicios meteorológicos aislados, financiados y controlados por los gobiernos, a una organización híbrida, en la que el gobierno provee una financiación básica, limitada, y se procura una financiación funcional por parte de los usuarios actuales. Se puede organizar la financiación de los usuarios pasando cargos directamente a los individuos o grupos de usuarios, pero también mediante la financiación cruzada gubernamental, p. ej. de agencias de protección del medio ambiente.

Esta nueva situación sugiere un grado de autonomía más alto para la organización, la oportunidad de cambiar su estructura, sus prioridades de servicio, y la cooperación con otras organizaciones, ya sean gubernamentales o privadas. Además, dentro de cada organización, la nueva situación requiere incrementar la delegación de responsabilidades. Se toman más decisiones en el terminal de servicio, más próximo al mercado y a los usuarios.

Este nuevo escenario también necesita un modelo de distribución hacia atrás de los

ingresos, más comúnmente adoptado. Esto tiene un aspecto nacional, y hay un aspecto internacional, que es probablemente mucho más difícil. En el modo nacional, la circulación de dinero es, naturalmente, función del beneficio estimado que obtendría el usuario final por los productos de predicción. Es también función de la legislación nacional y de las leyes que rigen el mercado. Esto quiere decir que la configuración de la circulación del dinero no puede establecerse *a priori*, sino después de cierto período de ajuste.

Los principios para los modelos nacionales de circulación del dinero pueden extraerse de la estructura general de la organización de predicción, compuesta por las cuatro líneas de estructura principales. Puesto que el SVO nos brinda la oportunidad de diseñar "algo nuevo", deberíamos aplicar un modelo de circulación de dinero que sea compatible con la estructura. Es decir, que la circulación de dinero debe asegurar no sólo el terminal visible de usuario del servicio, sino también los componentes más importantes de la infraestructura nacional, como la potencia del ordenador central, la comunicación de datos, la enseñanza del personal, etc.

Refiriéndonos al diagrama de organización del SVO, sus servicios finales se dividen en servicios básicos, que son gratuitos para los usuarios, y servicios especiales, que aún se subdividen en:

- Servicios totalmente de pago, para los cuales se calcula el coste de los trabajos de valor añadido y se incluye en la factura que se pasa a los usuarios. Puede haber posibles excepciones en las actividades de promoción con las "entregas de prueba".
- Los servicios concertados, en los que el usuario contribuye realmente a la producción mediante sistemas de medida privados, etc., en cuyo caso no sería adecuado pasar los cargos completos.

Con un modelo de circulación de dinero más específico, la prioridad más alta se dará aún a la parte terminal de la organización, ilustrada en las líneas 3 y 4 de nuestro diagrama de

estructura. Las investigaciones han puesto de manifiesto que los usuarios comerciales aprecian mucho el tipo de servicio especial, en que pueden tomar contacto directamente con los expertos. El mantenimiento y mejora de las partes de infraestructura, según pretenden, son responsabilidad de los gerentes generales y de los departamentos de finanzas de los gobiernos. En general, éste ya no es el caso, y habrá siempre una clara circulación de dinero desde el terminal a la infraestructura.

Finalmente, nos referiremos brevemente a los aspectos internacionales. Es probable que las nuevas organizaciones de servicio híbridas generen interés en los entes de cooperación internacionales. La creciente comercialización ya ha suscitado la competencia entre distintos centros meteorológicos nacionales de Miembros de la OMM y otras organizaciones internacionales. Este proceso es paralelo al del consorcio internacional de recursos de cálculo numérico. En este contexto es importante ser conscientes del enlace vital entre la operación de un sistema de medida completo y la obtención activa de los beneficios de este sistema a nivel nacional.

La comercialización de la meteorología y la oceanografía operativas, probablemente estimulará y mejorará los servicios de predicción. Pero la extensión de la comercialización debe estar contenida en convenios y reglamentos internacionales con objeto de mantener la motivación necesaria de cada nación para trabajar conjuntamente dentro de la OMM y otras organizaciones internacionales.

Referencia

El Ministerio de Industria de Noruega, abril de 1989: *HOV: an Ocean Environmental Monitoring and Forecasting System for the Protection of Life, Environment and Resources*, (HOV: un Sistema de Control y Predicción del Medio Ambiente Océánico para la Protección de la Vida, el Medio Ambiente y los Recursos). NSC Report 89, 4, Oslo, Noruega.