

**XVI CONGRESO CHILENO DE INGENIERIA SANITARIA Y AMBIENTAL
II SIMPOSIO LATINOAMERICANO DE LODOS Y BIOSÓLIDOS**

Viña del Mar, 23 al 26 de Octubre de 2005

**SISTEMA DE GESTIÓN PARA EL ANÁLISIS DE LA DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES
ARROJADOS EN LA BAHÍA DE VALPARAÍSO**

**Oscar Cartes Zurita
Ing. Const. Naval,
Post. Gestión y Ordenamiento Ambiental USACH
M.Sc. Medio ambiente
e-mail: oscardartes@123mail.cl**

**Fernando Corvalan Quiroz
Ing. Civil Químico, Dr.-Ing.
Depto. Ing. Geografica USACH
Programa de Gestión y Ordenamiento Ambiental USACH
e-mail: fcorvala@usach.cl**

Introducción

El análisis de información temporal y espacial, aplicando tecnologías de última generación como es la modelación numérica para determinar patrones de corrientes marítimas bajo condiciones imperantes en la bahía de Valparaíso, integrando a un Sistema de Información Geográfica y así obtener una poderosa herramienta de gestión ambiental, se logra, por medio de software especializado como es MIKE 21 desarrollado por el Instituto Danés de Hidráulica (DHI), que actualmente es utilizado por el Instituto Nacional de Hidráulica (INH) y posteriormente con ArcMap 8.2

Oleaje

Oleaje se entiende aquellas ondas con períodos de 3 a 20 s, generalmente generadas por vientos, el que actúa sobre el agua del mar poniéndola en movimiento, produciendo un movimiento ondulatorio en las capas superficiales

El viento ejerce una presión sobre la cara ascendente y una depresión sobre la descendente, el conjunto de estas dos fuerzas antagonistas da como resultado el aumento de altura de la ola; pero como no se puede sobrepasar un valor límite, se produce rompimiento, el movimiento una vez iniciado en la superficie, se propaga hacia el fondo, y la longitud de onda tiende a aumentar. De esta forma, si el viento sopla en sentido de propagación de la ola, la amplifica y produce en su longitud de onda un aumento.

Corrientes de litorales

En el dominio de la ribera litoral las corrientes están asociadas a las mareas y el oleaje, generando la deriva y la resaca.

- Resaca es una corriente de reflujó que arrastra consigo una serie de materiales, una vez que la ola rompe en la costa.

- Deriva es una forma de transporte de materiales que se produce a lo largo de la línea de costa. Las olas se aproximan en ángulo oblicuo, de esta forma, el avance del agua se desplaza oblicuamente por la antecosta, arrastrando guijarros y cantos.

Propagación del oleaje

Un tren de olas que viaja desde aguas profundas hacia la costa, experimenta alteraciones debido a Refracción, Difracción, Reflexión y Rompimiento.

Transporte en el ambiente marino

El movimiento orbital de olas da paso a un flujo oscilatorio que disminuye exponencialmente en su magnitud de la superficie de agua hacia el fondo. A una profundidad de agua igual a la mitad de la longitud de la ola, las órbitas empiezan a actuar recíprocamente con el fondo. El movimiento orbital aumenta, generando una trayectoria elíptica hacia el fondo hasta que el movimiento se transforma en oscilaciones cada vez más energéticas la cual es transferida a la cama de sedimentos a baja profundidad de agua.

Mike 21

El software MIKE21 es un grupo de subprogramas que en conjunto constituyen un ambiente de trabajo que permite el modelado bidimensional de flujos costeros y fenómenos de transporte de sedimentos. Este software es un desarrollo del “Danish Hydraulic Institute” (DHI, Dinamarca) y gracias a un convenio de colaboración con el INH, ha sido incorporado como la herramienta de trabajo para la modelación numérica del ambiente costero.

MIKE21 incluye una serie de subrutinas que permiten digitalizar y modelar batimetrías irregulares así como un eficiente manejo de entrada de datos y salidas gráficas de los resultados. Como esquema numérico el software utiliza la técnica de las diferencias finitas, con las cuales resuelve las ecuaciones de movimiento y conservación de masa.

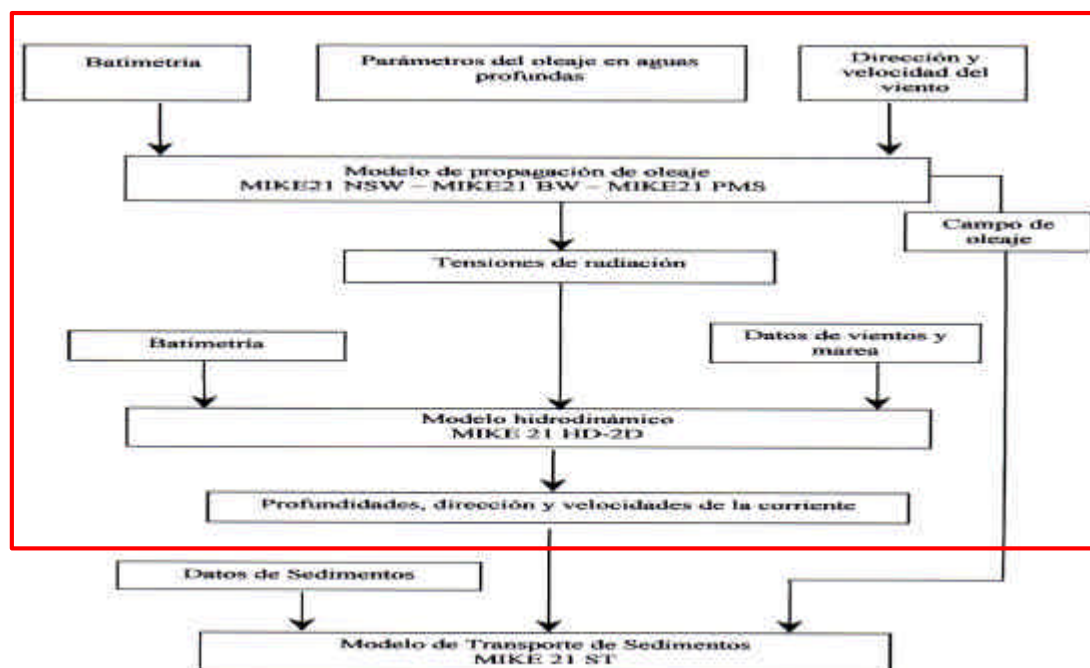


Fig. 1, Diagrama de flujo software de modelación Numérica Mike 21

MIKE21 PMS : Utiliza el modelo parabólico de refracción-difracción del oleaje.
MIKE21 HD-2D: Utiliza el modelo hidrodinámico de flujo bidimensional.

Mike 21 Modulo PMS

Este modelo permite calcular la propagación del oleaje, desde aguas profundas hasta aguas someras, considerando principalmente los efectos de refracción y difracción. Para este objetivo utiliza un modelo matemático cuya variable dependiente es la función potencial del oleaje.

Los fenómenos físicos asociados a la propagación del oleaje, que en general interesa estudiar, son los siguientes:

- Refracción
- Difracción
- Reflexión
- Rotura del oleaje
- Disipación de energía
- Fricción de fondo
- Dispersión en frecuencia y dirección
- No-linealidades

Para facilitar la solución numérica se introduce la hipótesis adicional de onda progresiva, sólo válida para modelar áreas costeras con presencia de estructuras con bajos índices de reflexión (Manuales Software Mike 21), lo que permite describir eficientemente la evolución de propiedades independientes de la fase de las olas, tales como la altura de la ola y el vector número de ondas.

El esquema de diferencias finitas tipo Crack - Nicholson es usado por el módulo PMS para resolver la ecuación parabólica. Cuando se activa en el software la opción de oleaje direccional, las diferentes componentes del oleaje son adicionalmente combinadas mediante superposición lineal.

Las condiciones fronteras con las que debe alimentarse la malla computacional son los parámetros estadísticos típicos del oleaje en aguas profundas o valores equivalentes obtenidos a partir de observaciones u otro modelo. Alternativamente, si el oleaje considerado es tipo aleatorio, también puede ser especificado el espectro direccional.

Mike21 HD

Los fenómenos hidrodinámicos tienen relación con las corrientes generadas por el oleaje en el sector de la rompiente del mismo. Estas corrientes son inducidas por los gradientes de las tensiones de radiación que se generan como producto de la rompiente oblicua del oleaje, que son un orden de magnitud mayores a las corrientes oceanográficas o de bahía generadas por gradientes de presión atmosférica, mareas, vientos u otros. La existencia de las corrientes litorales sumada a la alta turbulencia que se genera en el sector de la rompiente hace que la actividad sedimentológica que se desarrolla en este sector sea la de mayor relevancia para la evolución o equilibrio morfológico de la línea de playa.

Las ecuaciones utilizadas por el módulo hidrodinámico de MIKE 21 son las ecuaciones de conservación de masa y momentum para el flujo medio verticalmente integradas y temporalmente promediadas a escala de la turbulencia y de las olas. Por lo tanto, sólo se podrán estudiar sectores costeros caracterizados por patrones de circulación de corrientes esencialmente horizontales, para los cuales el supuesto de una estructura vertical de forma constante sea aceptable.

Para el modelado de la turbulencia se utiliza la hipótesis de Boussinesq para la viscosidad de remolino. Ésta se utiliza mediante un submodelo de tipo algebraico, permitiendo el uso de una viscosidad constante o bien el de una viscosidad dependiente de los gradientes del campo de velocidades de corriente.

El módulo HD hace uso del método implícito de las direcciones alternantes (ADI), que integra las ecuaciones en el dominio del espacio-tiempo. Las ecuaciones matriciales que resultan para cada dirección y cada línea de la malla son resueltas por un algoritmo de doble barrido. El algoritmo provee de una solución precisa, confiable y fácil de obtener, estando el método numérico caracterizado, en términos prácticos, por una falsificación despreciable de la masa, del momentum y de la energía.

Para aplicar el modelo HD, se requiere de la siguiente información para cada nodo de la grilla numérica: **Batimetría Resistencia del fondo y especificar que las condiciones frontera se puede escoger, para cada tramo.**

Borde Costero de la Bahía de Valparaíso

La bahía de Valparaíso, se ubica en 33° Latitud Sur con 71°5' Longitud Oeste, presenta este litoral donde se aprecia que la bahía se desarrolla entre la Punta Ángeles por el Sur y la Punta Con-Con por el Norte con 22,5 km de perímetro y una boca de 13 km, es bastante profunda, con valores que van desde los -100m a la altura de Punta Ángeles hasta profundidades de -50m a aproximadamente 1.000m de la costa, El principal aporte de sedimentos que dan origen a formaciones de playas en la bahía, proviene del Estero Marga Marga y de la red de drenaje de aguas lluvias provenientes de las quebradas de la zona. Los que suministran las arenas rubias que caracterizan las playas vecinas a las cuencas costeras de la cordillera de costa.

Granulometría de la Zona Caleta Portales

El d_{50} (Diámetro medio correspondiente al 50% de la muestra) para las muestras correspondientes a la zona emergida (playa), varía aproximadamente entre los 0.4 y 3.15mm, el d_{50} de las muestras de la zona sumergida varía entre 0.16 y 0.63mm. Las muestras de la parte emergida poseen un d_{50} mayor a las sumergidas y por consiguiente se observa una pendiente mayor en el estrán alto del perfil, a su vez, la parte sumergida posee un material más uniforme que en la parte emergida.

Granulometría del sector desembocadura estero Marga Marga

Se determinó que el tamaño del sedimento analizado se encuentra en el rango de 0,16mm a 2,0mm, lo que corresponde a arenas finas a medias.

Estudio de oleaje

La modelación numérica de la propagación de oleaje se realiza con el objeto de determinar las características del oleaje incidente desde aguas profundas hasta la bahía, de esta forma se determinan dirección y la altura del oleaje en las cercanías de la costa. Los estados de

mar para los años 1973, 1974, 1977, 1987 y 1988 se caracterizaron con 8.992, 9.340, 9.772, 8.863 y 8.935 datos de olas. Recientemente el INH realizó un proyecto (2002), el cual se basó en análisis espectral de olas en el interior de la poza de puerto de Valparaíso, la información base de oleaje estaba referida a la Boya Triaxis que pertenece al SHOA, de esta forma se contrastó el modelo teórico SMB con los datos medidos por la boya, encontraron diferencias notables al aplicar directamente un modelo teórico, por lo cual se utilizarán condiciones intermedias respaldadas con las mediciones y modelaciones que ha realizado el INH en los diferentes estudios de la bahía de Valparaíso. Las cuales son representativas de los períodos normales que se pretenden representar.

1. **Condición Reinante prevaleciendo la dirección Weste.**
2. **Altura de ola promedio 1m condiciones de verano y temporal 2.5m.**
3. **Condición dominante Nor- Weste.**
4. **Altura de ola promedio 1 – 1.5m en verano e invierno 6m promedio.**
5. **Condición de interés Sur Weste puesto que se presenta en primavera y verano junto con el Weste con alturas de 1.5m y en invierno de 2.5m.**

Resumen Condiciones Modelación Periodo de Invierno

Dirección		H_{so}	Periodo
SW	225°	2.5m	14s
W	270°	2.5m	12s
NW	315°	6m	14s

Resumen Condiciones Modelación Periodo de Verano

Dirección		H_{so}	Periodo
SW	225°	1.5m	10s
W	270°	1.0m	10s

Mareas

Para establecer las condiciones de marea en la bahía, se consideró la información de las "Tablas de Marea de la Costa de Chile", publicadas anualmente por el SHOA, los registros correspondientes al Puerto de Valparaíso indican que se establece que el Nivel Medio del Mar corresponde a +0,91m NRS.

Generación de la batimetría

La generación de la batimetría de zona de modelación se obtiene al unir en un solo plano cartas náuticas, planos de sondajes y taquimetrías de las campañas de terreno realizadas por el Instituto Nacional de Hidráulica, referenciadas y escaladas a la misma posición geográfica y referida al sistema geodésico WGS84 zona 19 sur.

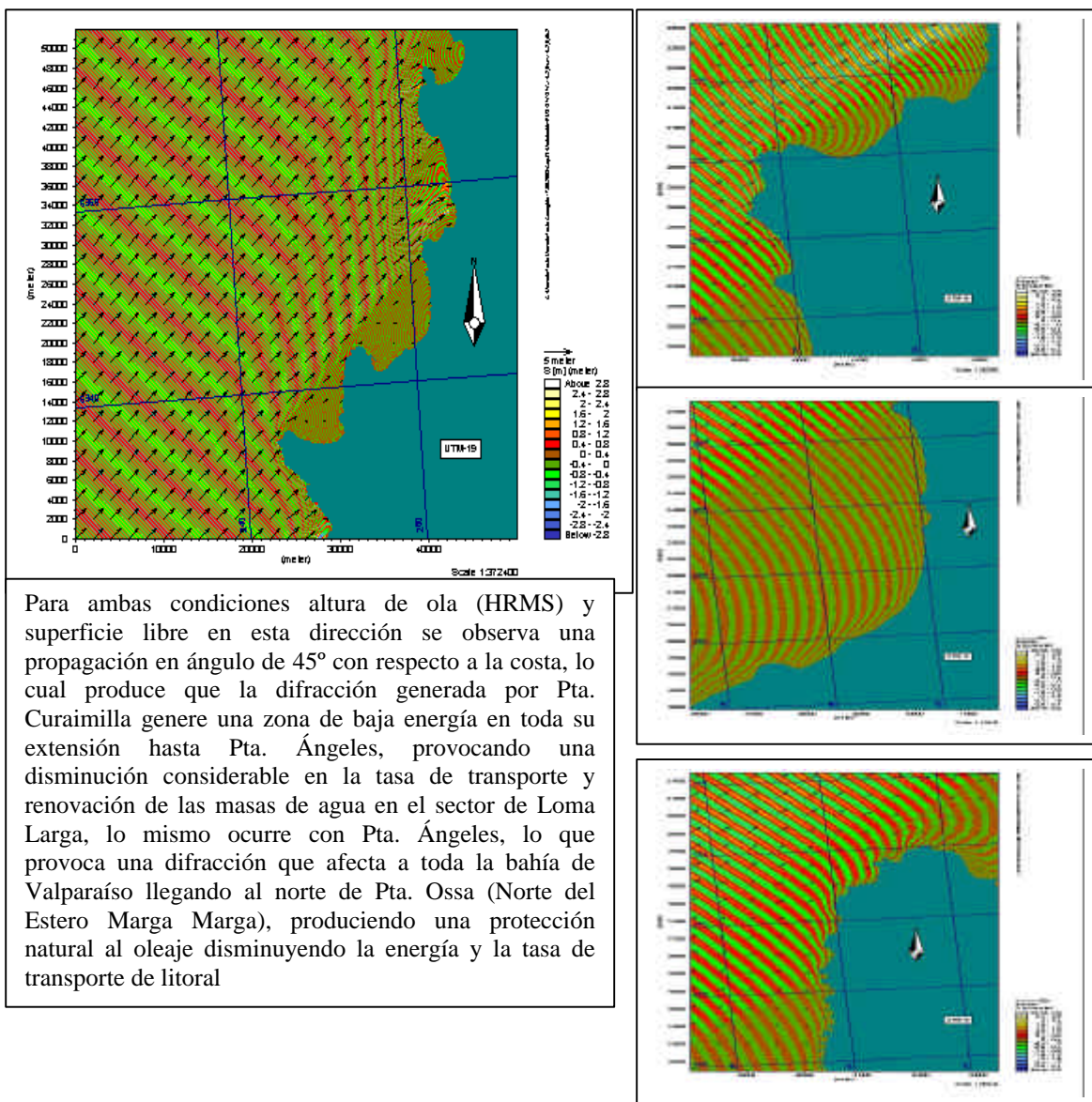
Metodología

Para abordar la propagación del oleaje desde aguas profundas hasta la zona de estudio, se determinó el área de influencia del oleaje que afecta a la bahía en un Dominio Regional Local a la vez. Propagando el oleaje - regional - con grillas de mayor tamaño hasta profundidades intermedias y obtener las condiciones de borde para la zona local, la cual esta generada a un tamaño de grilla menor que la anterior y por ende con mayor información batimétrica, en la modelación del oleaje regional se despreciaron los efectos disipativos de la rotura y de la fricción contra el fondo, puesto que se consideró oleaje irregular y unidireccional.

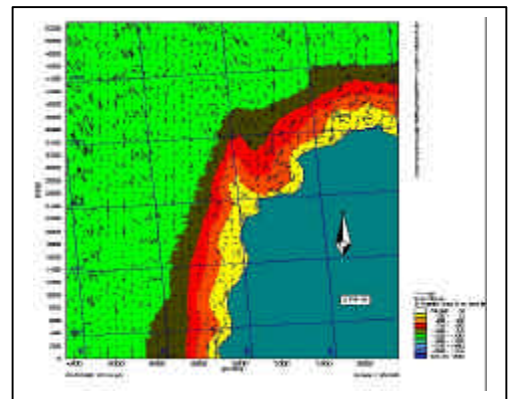
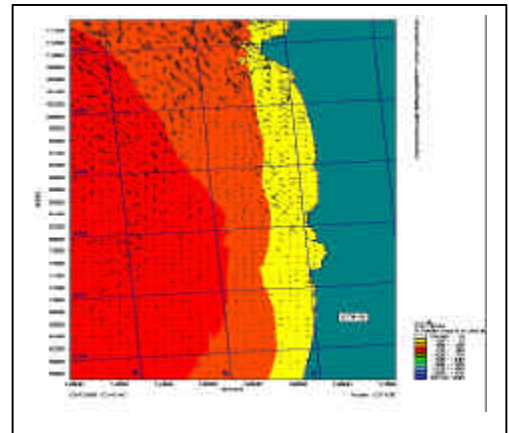
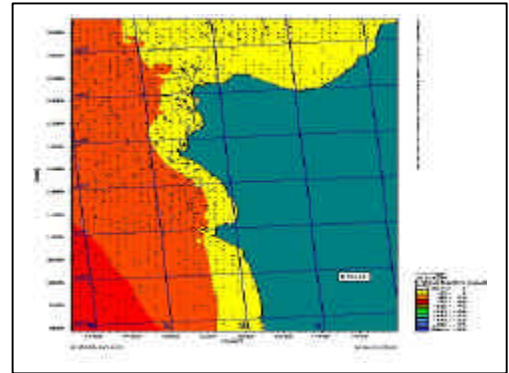
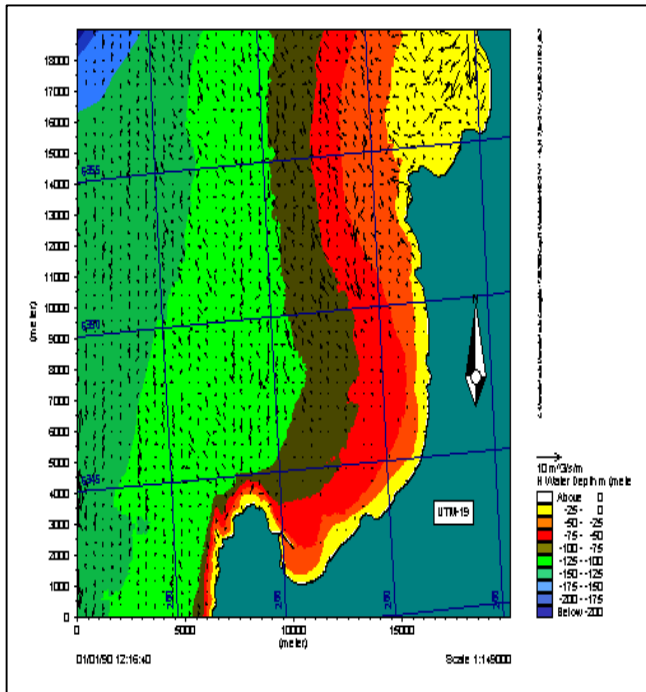
La simulación inicial para las direcciones SW y W se modeló en PMS con toda la batimetría, para las direcciones el modelo debe considerar que tres fronteras, dos pertenecen al ámbito

marítimo y una al terrestre, la batimetría original debe ser rotada para obtener esta condición de borde para la dirección NW.

Dirección SW Hso = 2.5m, T = 14s, Sup. libre y Velocidad de la ola



Dirección SW Hso = 2.5m, T = 14s



Sistemas de información geográfica

Un SIG se define como un conjunto de métodos, herramientas y datos que están diseñados para actuar coordinada y lógicamente para capturar, almacenar, analizar, transformar y presentar toda la información geográfica y de sus atributos con el fin de satisfacer múltiples propósitos. El SIG es una nueva tecnología que permite gestionar y analizar la información espacial y que surgió como resultado de la necesidad de disponer rápidamente de información para resolver problemas y contestar a preguntas de modo inmediato.

Análisis Espacial de la bahía de Valparaíso

Para realizar el análisis espacial de la bahía se procedió a generar un Sistema de Información Geográfica, por intermedio del Software ArcMap V 8.2. Este Sistema cuenta con información de trazado de calles, nombres de calles, curvas de nivel, cotas topográficas, edificaciones, obras de arte, áreas verdes, zonas de desmoramiento de tierras, fotografías aéreas, imágenes satelitales, etc. al que se le agregó la información obtenida de la modelación numérica de oleaje y corrientes en la bahía.

A lo anterior se agrega las bases de datos consistentes en diez años de monitoreos de contaminantes realizados por el Servicio de Salud Valparaíso San Antonio en bahía, a distintas profundidades y distancias del borde costero, monitoreos Coliformes Fecales de las principales playas de la zona y los monitoreos de la descarga del emisario de Loma Larga.

Los contaminantes monitoreados en bahía son Sólidos Suspendidos, Coliformes Fecales, Coliformes Totales, Grasas y Aceites, Detergentes, DBO5, Oxígeno Disuelto, Nitrato, Nitrito y Nitrógeno Amoniacal, a 150m, 600m y 900m de la costa y a 0m, 5m, 10m y 15m de profundidad, conformando un total de 13 transectas de monitoreo distribuidas espacialmente en toda la bahía. En total el sistema maneja, cruza y entrega información ya sea tanto de zonas terrestres como marítimas entre los años 1992 al 2001, conformando una base de datos de 600 Mb, se convierte en un modelo predictivo a estar integrada la componente marítima.

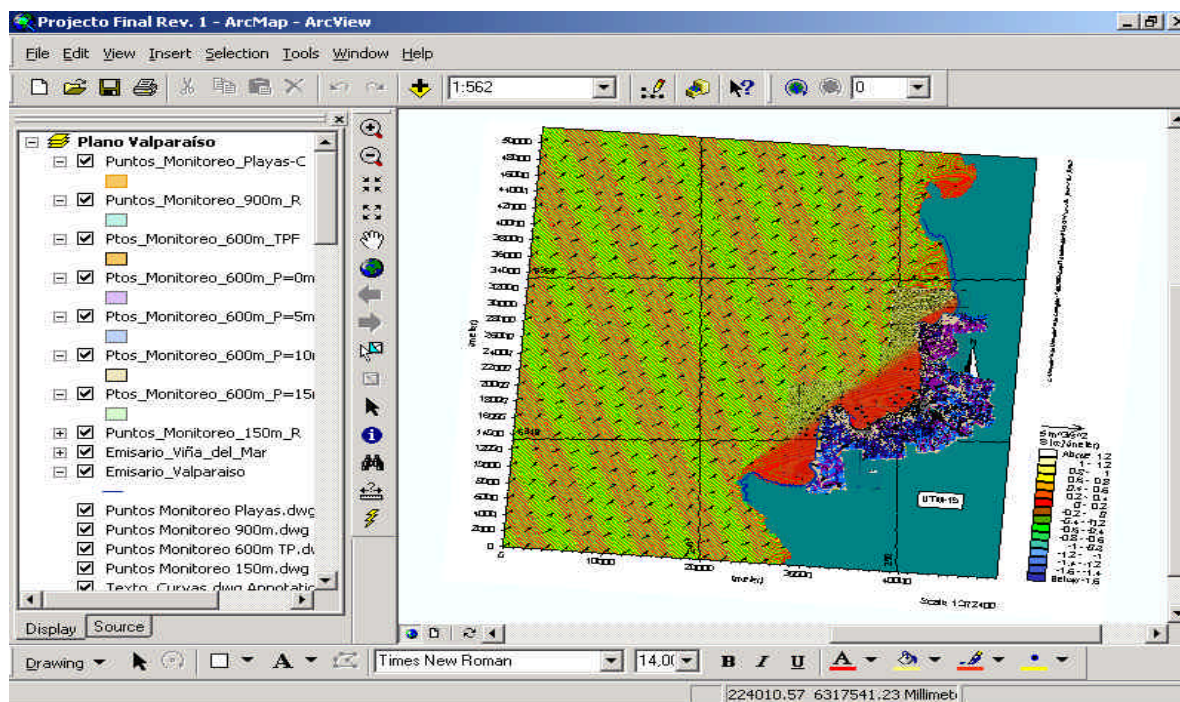


Fig 2: Vista general salida SIG con frente de oleaje Sw

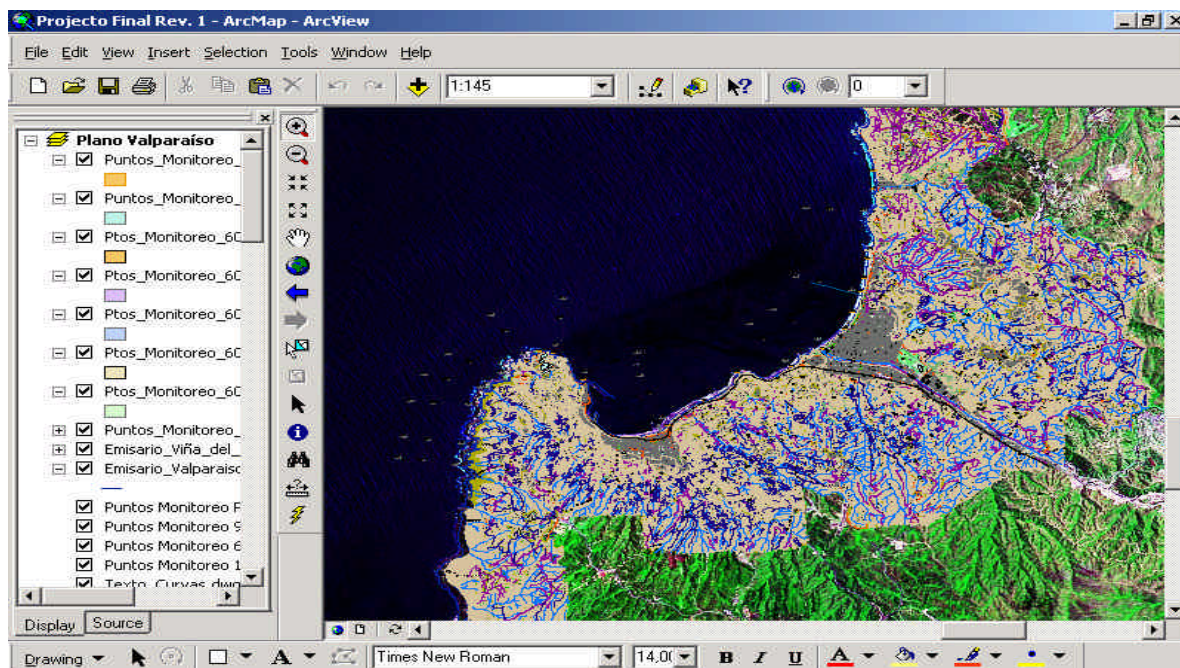


Fig 3: Salida de imagen satelital NAVSTAR 2000, con oleaje incidente de la dirección Sw.

Al contrastar la Fig. 2 (salida modelo matemático) con la Fig. 3 (salida Sistema de Información Geográfica), se observa perfectamente que el modelo matemático de propagación de oleaje representa fielmente lo que esta ocurriendo en la naturaleza.

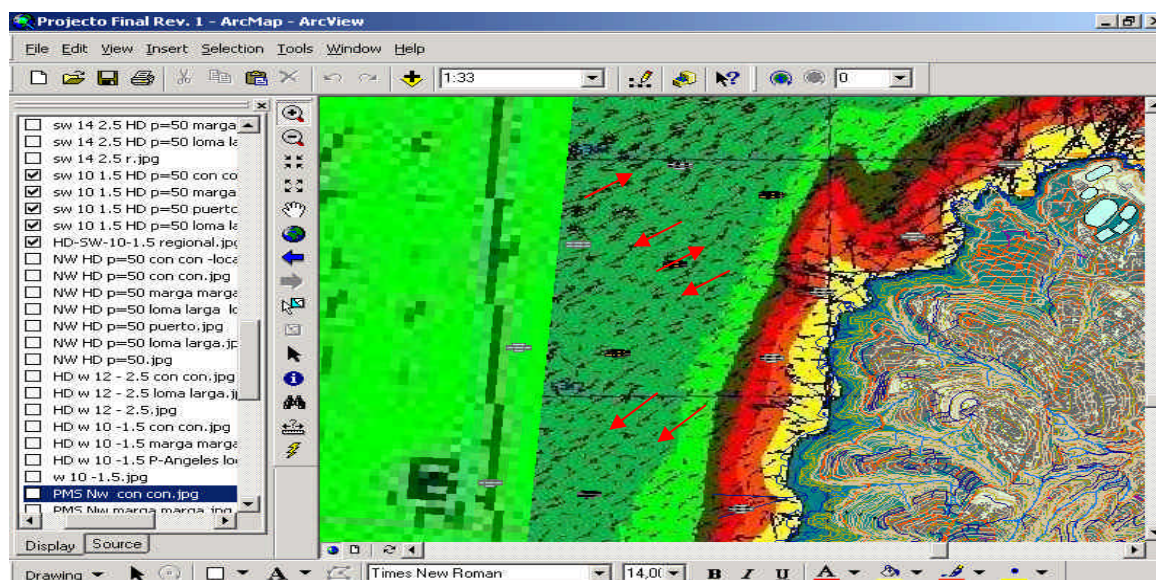


Fig. 4: Muestra salida de corrientes en el sector de Loma Larga para la dirección SW para una condición de verano

La figura anterior muestra patrones de circulación totalmente contrarios a los que se deberían esperar, estos es, que al incidir el oleaje desde el SW se deberían propagar las

corrientes hacia el Nor Este, pero se muestra que la propagación es de Norte a Sur debido a la difracción que produce Punta Curaimilla, indicando que la dispersión de contaminantes esta restringida seriamente por este accidente geográfico costero, en las zona muy próximas de la costa los patrones son totalmente desordenados debido a la influencia de la zona rompiente.

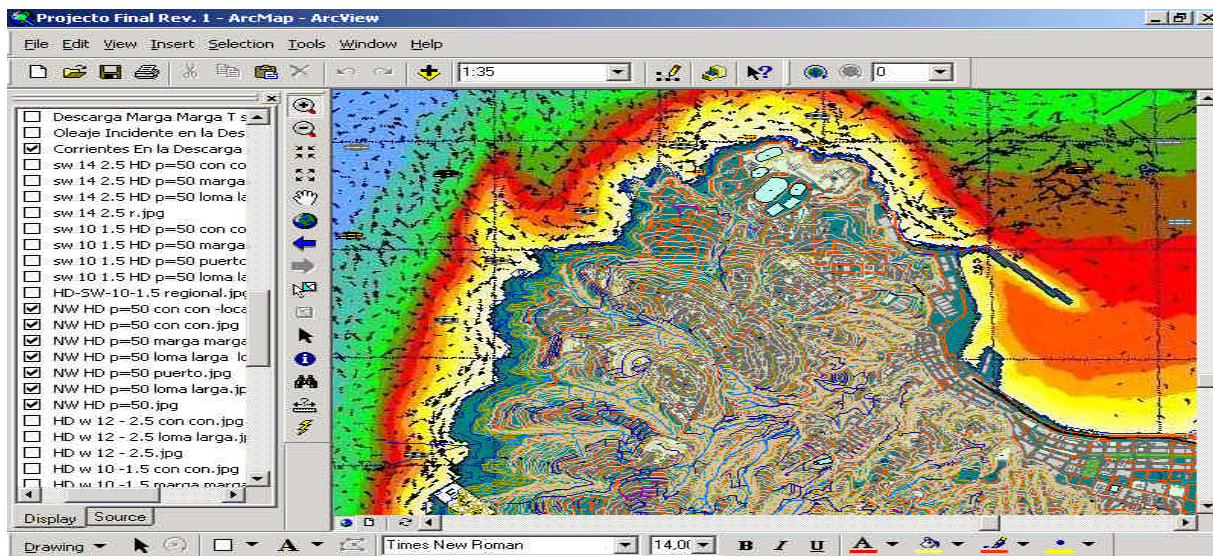


Fig. 5: Muestra salida de corrientes en el sector Puerto para la dirección NW para una condición de invierno

Los patrones circulación de corrientes, observados en la figura anterior muestran la recirculación que se produce en el sector de la Playa San Mateo, al incidir un oleaje de la dirección NW en Punta Ángeles genera patrones de circulación en dirección al sector puerto, en la zona cercana a Loma Larga se pueden apreciar perfectamente los patrones de corrientes paralelos a la costa en dirección del emisario, en la zona de descarga de este se logran apreciar patrones de reingreso hacia la zona costera.

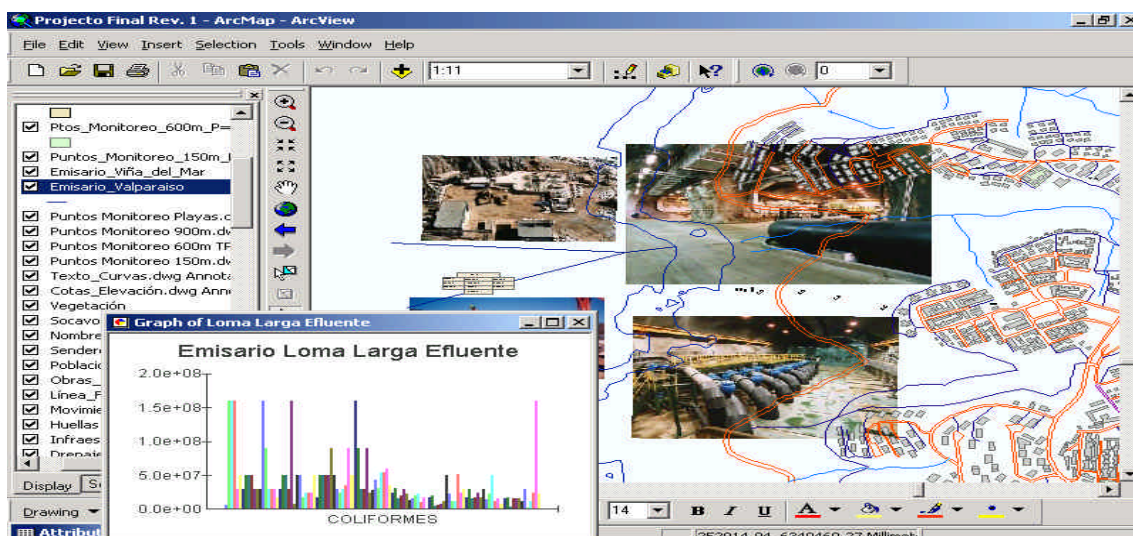


Fig. 6: Muestra salida de información del emisario de Loma Larga

En la figura anterior se observa el potencial de la utilización de Sistemas de Información Geográfica, en la cual se aprecian fotografías de la planta de tratamiento primaria, el interior de los túneles, la planta de bombeo y la información de la base de datos que se entrega contenida en el emisario de Loma Larga, en el caso particular estos datos están constituidos por Aceites y Grasas, Coliformes Fecales, DBO5 y Sólidos Suspendidos

Los que fueron monitoreados entre los años 1999 al 2001 con un frecuencia mensual de cuatro veces, llama la atención en el caso de la figura que se muestra el monitoreo de Coliformes Fecales que en la gran mayoría de las ocasiones los valores alcanzados superan exageradamente la Norma de Calidad de Aguas Marinas que el Límite Máximo Permitido es de 1000 CF por cada 100 ml. de efluente muestreado.

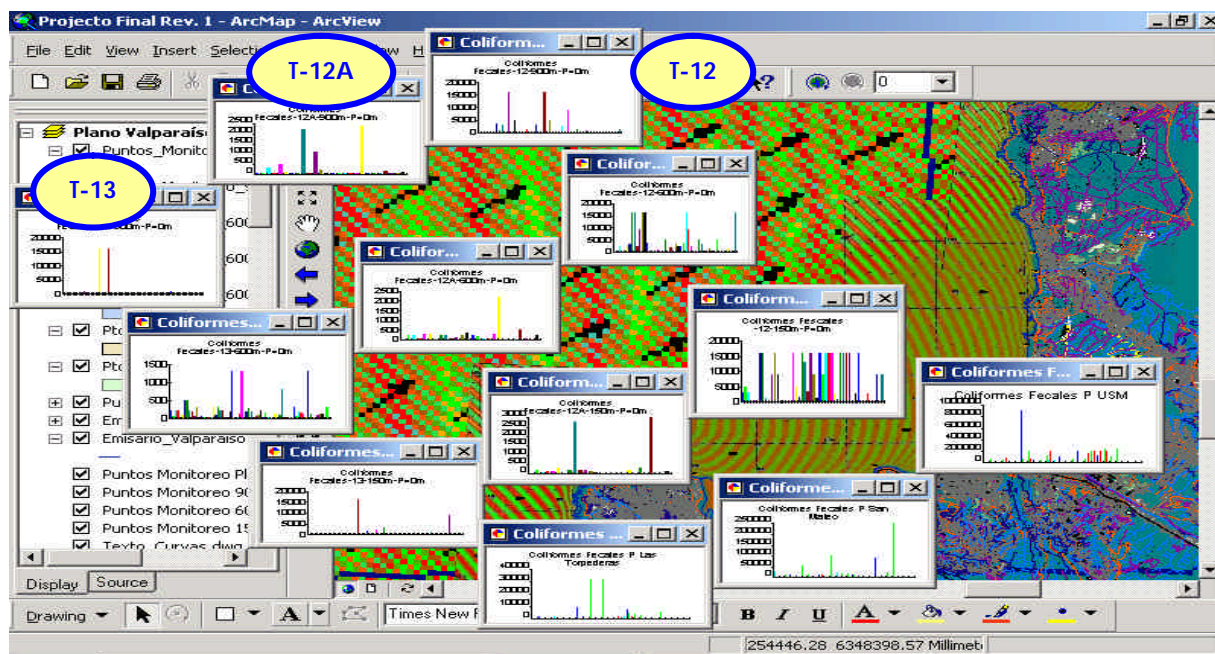


Fig. 7: La figura muestra los gráficos de Coliformes Fecales de las transectas 13, 12A y 12

Para realizar un análisis espacial en mayor profundidad de los fenómenos de transporte que se producen para las condiciones de oleaje de mayor incidencia en la bahía, se posicionan las graficas de Coliformes Fecales en una distribución horizontal desde la costa hacia aguas profundas, para las transectas 13 (Punta Ángeles), 12A (Playa San Mateo) y 12 (Cercano al Muelle Barón), de lo cual se observa que el transporte es hacia el interior de la bahía y hacia la línea de costa, debido a los fenómenos marítimos existentes en la Bahía de Valparaíso.

CONCLUSIONES

a) Generales

Del trabajo desarrollado en la presente memoria, se ha verificado que la gestión y planificación del medio ambiente requiere de instrumentos de apoyo que permitan modelar el ordenamiento territorial en función de los problemas ambientales y las variables que en ellos intervienen. Esto es especialmente relevante en el caso estudiado de la bahía de Valparaíso, dada su complejidad hidrodinámica y ambiental.

b) Modelos Matemáticos Utilizados y Sistema de Información Geográfica

El modelo Mike 21, comprende varios módulos, que constituyen un ambiente de trabajo que permite la modelación bidimensional de flujos costeros y fenómenos de transporte de sedimentos marinos. Este modelo incluye una serie de subrutinas que permitieron digitalizar y modelar la batimetría de la bahía, logrando además, un manejo eficiente de la entrada de datos y de las salidas gráficas de los resultados. Como esquema numérico, el modelo utiliza la técnica de las diferencias finitas, con las cuales resuelve las ecuaciones de movimiento de conservación de masa.

Con la utilización de herramientas computacionales utilizadas en lo referido a software y hardware, es posible construir un sistema predictivo para el manejo sustentable de ambientes marítimos costeros.

Para el manejo espacial y temporal de los datos, se utilizó el conjunto de programas ARCGIS V 8.2, el cual debido a su estructura basada en objetos permite asegurar una flexibilidad que posibilita la extensión de los programas a futuras mejoras, ya que aprovecha las ventajas de la Programación Orientada a Objetos (OOP) por sobre los lenguajes no estructurados.

La herramienta básica de Gestión Ambiental que permiten tomar decisiones adecuadas en el combate de la contaminación de la bahía de Valparaíso, es el conjunto de integración de la información disponible es una plataforma SIG.

Lo más importante para el uso y manejo de un SIG, son los mecanismos de recolección e ingreso de información, almacenamiento de ella, su manipulación, recuperación y despliegue y salida de los datos generados. Estas tareas deben ser efectuadas por personal altamente capacitado, que sea capaz de interpretar la información que se le está solicitando al sistema.

El SIG es capaz de manejar, cruzar y entregar para su análisis un volumen considerable de información en poco tiempo, lo que hace que esta herramienta computacional se posicione muy fuertemente en la Gestión Ambiental actual.

c) Aplicación del Modelo y Resultados

De los datos utilizados para el desarrollo de este trabajo, llama la atención en la descarga del emisario submarino de Loma Larga la tasa máxima de 5500 CF/S, demostrando que han existido eventos puntuales que podrían haber estado fuera de la norma de descargas.

Con los resultados obtenidos se puede obtener una apreciación a grueso modo del estado de la bahía de Valparaíso. Si bien es cierto que los datos utilizados corresponden a información disponible en las Universidades locales, existiendo en el tiempo algunos vacíos

en la continuidad de los muestreos, por lo cual se hace necesario, en forma independiente de los resultados que se obtienen, efectuar un análisis en mayor detalle de la situación actual de la bahía por medio de monitoreos más representativos y continuos en el tiempo.

Los patrones de circulación resultantes de la modelación numérica son totalmente contrarios a los que se deberían esperar para las direcciones de oleaje estudiadas. En efecto, al incidir el oleaje desde el SW se deberían propagar las corrientes hacia el Nor Este, pero ocurre que la propagación es de Norte a Sur, debido a la difracción que produce Punta Curaimilla. Por lo anterior, se podría deducir que la dispersión de contaminantes estaría restringida seriamente por este accidente geográfico costero. Además, en las zonas muy próximas de la costa los patrones son totalmente aleatorios debido a la influencia de la zona rompiente.

Para realizar un análisis espacial con mayor profundidad de los fenómenos de transporte que se producen para las condiciones de oleaje de mayor incidencia en la bahía, se utilizó las gráficas de Coliformes Fecales, desplegadas en una distribución horizontal desde la costa hacia aguas profundas, para las transectas ubicadas a la cuadra de Punta Ángeles, Playa San Mateo y Cercano al Muelle Barón. De lo anterior se obtuvo que la dirección del transporte es hacia el interior de la bahía y hacia la línea de costa, debido a los fenómenos marítimos existentes en la Bahía de Valparaíso.

Al realizar un análisis de los resultados obtenidos en esta memoria, se podría establecer la hipótesis que los emisarios submarinos no están siendo efectivos o estarían mal emplazados. Para poder determinar fehacientemente la veracidad de dicha hipótesis, se hace necesario realizar un estudio hidráulico marítimo ambiental con mayor profundidad, utilizando tecnología de punta existente en el país, lo cual está fuera de los alcances de la presente memoria.

c) Recomendaciones

El manejo sustentable de la cuenca de Valparaíso no sólo debe considerar en la gestión ambiental desde la costa hacia el interior. Además, se debe integrar el espacio terrestre con el marítimo, puesto que lo que incide en la parte terrestre afectará sin lugar a dudas el ambiente marítimo.

Las políticas de desarrollo de la ciudad de Valparaíso y Viña del Mar deben ser enfocadas de tal manera que se minimicen los efectos no deseados del progreso y se preserve el medio ambiente para las generaciones futuras.

Por último, se deben implementar políticas para generar un sistema de información que permita la integración de las investigaciones en un banco de datos, de la información recopilada a través de los años por la diferentes empresas públicas o privadas, que esté a disposición de las Autoridades de Gobierno, pues son ellas quienes toman las decisiones en lo referido a inversiones con un enfoque de desarrollo sustentable.

BIBLIOGRAFÍA

1. Jouravlev, Crisis de gobernabilidad en la gestión del agua (Desafíos que enfrenta la implementación de las recomendaciones contenidas en el capítulo 18 del Programa 21) Comisión Económica para América Latina y el Caribe, CEPAL, Serie Recursos Naturales e Infraestructura, diciembre 2001.
2. OMI Londres, Marine Pollution. Informe de la 17 a Reunion, 23-24 abril 1974
3. Lemay M, Estrategia para el Manejo de los Recursos Costeros y Marinos en América Latina y el Caribe, Banco Interamericano de Desarrollo BID, Washington DC, 1998
4. HARRIS, C.J., "Mathematical modelling of turbulent diffusion in the environment", 1979.
5. OZMIDOV, R.V. (1990) "Diffusion of contaminants in the ocean". Academic Publishers. RUIZ-MATEO, A. "Proyecto, construcción y vigilancia de emisarios submarinos". Jornadas celebradas en el CEDEX (Madrid) en Junio de 1995.
6. RUIZ-MATEO, A. "Ecuaciones fundamentales de la Hidrodinámica". 1 Master en Ingeniería de Puertos y Costas, celebrado en el CEDEX (Madrid). Sección I, volumen 1, 2000.
7. RUIZ-MATEO, A. "Flujo y dispersión en océanos y estuarios". 1 Master en Ingeniería de Puertos y Costas, celebrado en el CEDEX (Madrid). Sección 1, volumen 2, 2000.
8. Manuales Mike 21, DHI, Módulos PMS, HD, ST
9. COMAS, D. y RUIZ, E. Fundamentos de los Sistemas de Información Geográfica. Barcelona, Ariel, 1993.
10. CONESA GARCIA, C., "Área de aplicación medio ambiental de los SIG. Modelización y avances recientes". Papeles de Geografía, 1996.
11. Cartes O. Análisis espacial y temporal de las corrientes de la bahía de Valparaíso, Tesis Magister Medio Ambiente, Programa de Gestión y Ordenamiento Ambiental, USACH, 2004