



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
VICERECTORADO DE
INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN SOCIAL



PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN (Internos, Semilla, Inter y Multidisciplinarios, Externos):

Área del proyecto: Ciencias Básicas <input type="checkbox"/> Ciencias Aplicadas X
FACULTAD: Facultad de Ingeniería Mecánica (en conjunto con Centro de Modelización Matemática)
DEPARTAMENTO: Ingeniería Mecánica
LINEA DE INVESTIGACIÓN: Mecánica de Fluidos , Optimización y control (verificable en el SAEW)

1 Proyecto de Investigación
Título: Asimilación de datos satelitales e in-situ para modelos de predicción de oleaje para la costa ecuatoriana
Resumen del proyecto (máximo 200 palabras) <p>El objetivo del presente proyecto es desarrollar una nueva metodología para la asimilación de datos tanto de satélites como de mediciones in-situ para el modelo de predicción de oleaje WaveWatchIII. Uno de los procesos más relevantes en la zona costera es el oleaje de viento, el mismo que a diferencia de las mareas es menos predecible y tiene una gran influencia en las actividades antropogénicas (e.g., navegación, pesca, turismo, desarrollo urbano, entre otros). En el Ecuador específicamente, año tras año se lamenta la pérdida de vidas humanas y de infraestructura a causa del oleaje, mientras que por otro lado, existen actualmente herramientas avanzadas de predicción como los modelos numéricos, además de técnicas de medición local y remota. Específicamente la puesta en órbita del satélite Sentinel-1 el pasado Abril-2014, a cargo de la Agencia Espacial Europea (ESA), crea oportunidades excepcionales para la asimilación de datos oceanográficos, especialmente aquellos del instrumento SAR (<i>Synthetic Aperture Radar</i>). El desarrollo de herramientas de predicción es por lo tanto un tema de relevancia práctica y científica, sobre cuya base se busca atender necesidades más aplicadas, como los problemas de erosión, sedimentación, inundación, y en términos más generales el manejo integrado de la zona costera ecuatoriana.</p>
Palabras clave (3-5): oleaje, asimilacion de datos, modelos de predicción, WaveWatchIII, Synthetic Aperture Radar



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
VICERECTORADO DE
INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN SOCIAL



	<p>- Objetivos</p> <ul style="list-style-type: none">* Desarrollar una metodología para la especificación y cálculo de las matrices de covarianza de errores como componente fundamental del sistema de asimilación de datos.* Desarrollar una metodología para el proceso de desambiguación de datos del espectro SAR.* Desarrollar variantes de los modelos de optimización 3DVAR y 4DVAR para la asimilación de datos y estudiar métodos numéricos eficientes para su resolución computacional.* Desarrollar una nueva metodología para la asimilación de datos satelitales e in-situ para el modelo de predicción de oleaje WaveWatchIII. <p>- Hipótesis</p> <p>Las condiciones estadísticas fundamentales para la asimilación de datos que son homogeneidad, isotropía, y ergodicidad, pueden ser satisfechas en el caso de los modelos de predicción de oleaje si los diferentes fenómenos físicos presentes son identificados, especificados y asimilados por separado, partiendo del espectro del oleaje como variable básica.</p> <p>- Resultados esperados</p> <ul style="list-style-type: none">* Algoritmo de desambiguación de espectros SAR y procesamiento de los datos.* Algoritmo de optimización para la resolución de los problemas 3DVAR y 4DVAR con términos alternativos en la función de costo.* Metodología para la caracterización de los errores y los dominios espaciales de asimilación de datos (Background error covariance matrix).* Implementación y verificación del sistema de asimilación de datos en el modelo de oleaje WaveWatchIII.* Al menos dos publicaciones en revistas internacionales indexadas. <p>- Potenciales Usuarios</p> <p>Los potenciales usuarios directos de los resultados de la modelización de oleaje y los resultados analizados son las municipalidades locales, gobiernos provinciales, central de gestión de riesgos, cámaras de la construcción, cámaras de turismo, entre otros, que pueden hacer uso de la información para sus programas de alerta y planificación.</p>
5	<p>Relevancia de esta propuesta de investigación con los objetivos científicos del departamento y su Línea de Investigación.</p>
	<p>El proyecto es de relevancia en el área de Mecánica de Fluidos y de Mecánica computacional y cumple con los objetivos y líneas de investigación del Departamento de Mecánica de Fluidos y del Centro de Modelización Matemática.</p>

6 Descripción del proyecto, metodología, cronograma de trabajo y justificación del equipo requerido



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

VICERECTORADO DE

INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN SOCIAL



- Descripción del proyecto (Máximo una carilla)

El conocimiento preciso del estado del mar es muy importante para muchas aplicaciones, como la navegación, el manejo de puertos, el diseño y construcción de estructuras costeras como malecones, estructuras para la protección de playas, entre otros. En el Ecuador, además, la pesca artesanal y el turismo local e internacional juegan un rol fundamental en la economía de la zona costera y por lo tanto la información anticipada sobre el estado del mar es importante tanto para salvaguardar la integridad de pescadores, habitantes, y visitantes por un lado, como para manejar con solvencia las posibles alertas que puedan presentarse.

En la zona costera, hay dos fenómenos de fundamental relevancia para establecer las condiciones del mar. Por un lado están las mareas, dominadas por el efecto de atracción gravitacional de la luna y el sol, y por otro lado están las olas, generadas y dominadas por las condiciones meteorológicas, sean estas locales o en sitios alejados del mar abierto. Por su naturaleza, las mareas son fenómenos cíclicos bastante regulares y predecibles y en general no involucran riesgos imprevistos. Las olas por el contrario, son de carácter mucho más aleatorio, constantemente cambiantes, y cuyo pronóstico involucra métodos y conocimientos más avanzados. Por esta naturaleza aleatoria, las olas están más asociadas a situaciones de riesgo y accidentes en la zona costera. Afortunadamente, a pesar de su naturaleza aleatoria, las olas pueden predecirse con un margen de incertidumbre bastante aceptable a través de modelos numéricos.

Sin embargo, a pesar de que la modelización de oleaje a experimentado grandes avances en las últimas décadas, muchos procesos físicos permanecen pobremente representados, especialmente aquellos relacionados con condiciones de aguas costeras y poco profundas. En la modelización de oleaje existen también muchos desafíos asociados principalmente a la complejidad geográfica, que puede afectar los campos de olas y de vientos. En estos casos, el uso de asimilación de datos emerge como una alternativa ideal para mejorar las predicciones.

En el Ecuador específicamente, la disponibilidad de datos de campo es bastante limitada. Sin embargo, existen en la actualidad técnicas e instrumentos de medición remota que constituyen bases de datos enormemente ricas. Una de estas bases de datos es la del instrumento SAR a bordo del satélite Sentinel-1, puesto en órbita el pasado Abril (2014) por la Agencia Espacial Europea (ESA), el mismo que provee datos a nivel global. Sin embargo, una de las deficiencias actuales de los datos de SAR es su ambigüedad direccional, que se produce porque el espectro obtenido de SAR proviene de una imagen instantánea de un fenómeno dinámico. Para que estos datos sean útiles para el propósito de asimilación es necesario elaborar un algoritmo de procesamiento que permita limpiar (desambiguar) dichas imágenes.

Los procesos de asimilación de datos 3DVAR o 4DVAR consisten en combinar, en modelos de optimización matemática, resultados de la dinámica del sistema con observaciones, de tal manera que el resultado sea más preciso que cualquiera de sus dos fuentes. Por lo tanto, un buen sistema de asimilación de datos debe ser consistente con a) las propiedades estadísticas de los datos del modelo y de las observaciones, b) de la dinámica del modelo, y c) de las condiciones locales de oleaje. Un sistema de asimilación de datos por lo tanto, sólo puede ser efectivo si toma en cuenta los procesos físicos involucrados en la evolución y propagación del oleaje y sus requerimientos estadísticos de forma integrada. Adicionalmente, los problemas de optimización involucrados pueden ser mejorados mediante la inclusión de términos adicionales en la función de costo, los cuales den cuenta de dinámicas discontinuas. La construcción de un sistema de asimilación de datos que cumpla con lo descrito anteriormente es la principal innovación que será desarrollada en el presente proyecto.

La importancia de este desarrollo en el contexto general radica en que el oleaje domina la mayoría de los procesos costeros, como inundación, erosión, sedimentación, producción biológica primaria y secundaria (asociada a los recursos pesqueros), transporte de contaminantes, entre muchos otros. Los procesos meteorológicos y la descripción de las mareas son también componentes fundamentales, y están siendo desarrollados paralelamente por el Centro de Modelización Matemática, y la Facultad de Ingeniería Mecánica de la EPN. Este paquete de herramientas constituirá la base fundamental para el desarrollo de otras disciplinas asociadas a los procesos costeros como el diseño de campañas de medición, ingeniería costera, transporte de sedimentos, entre muchos otros, que en su conjunto proporcionarán elementos cuantitativos para un manejo integral y objetivo de la zona costera.



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

VICERECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN SOCIAL



- Metodología y diseño de la investigación (Máximo una carilla)

El algoritmo de asimilación de datos

Algunos de los requerimientos del sistema de asimilación se pueden mostrar con el ejemplo de la ecuación 1, en el cual con fines ilustrativos se considera un esquema de tipo 3DVAR en el que la tarea de asimilación de datos se plantea como un problema de optimización, donde las diferencias entre el modelo y las observaciones serán minimizadas [1].

$$J(\psi) = \sum_o \sum_{f,\theta} Q_{o,j} (S''_{f,\theta} - S(\psi)_{f,\theta})^2 \quad (1)$$

donde J representa la función de costo, ψ es el set de parámetros, S es el espectro de olas, el índice o indica puntos de observación, el índice j indica una posición remota en la malla del modelo dentro del dominio de asimilación, los subíndices f y θ indican que las diferencias son evaluadas en el dominio espectral, y Q es el factor de ponderación calculado de los errores asociados a S'' y S' (i.e., matriz de covarianza de errores).

El modelo de corrección espectral

De la ecuación 1 es evidente que los componentes más importantes del sistema son ψ y Q . El esquema de asimilación como tal se refiere únicamente al método por el cual la función de costo será minimizada. ψ establece la forma en la que el espectro del modelo será operada para obtener su corrección. Es importante indicar también que por espectro de oleaje se debe entender el espectro individual de cada sistema con un origen meteorológico diferente [2]. Estos sistemas pueden determinarse de un análisis del clima local de oleaje [3]. Para diseñar el modelo de corrección, se necesita determinar las propiedades a ser ajustadas. Para un modelo sencillo como el de la ecuación 2, se usan las propiedades más comunes como el contenido energético, el periodo promedio de la ola, y su dirección media. En este modelo, ψ se compone de α , β y δ , y corrige energía, periodo y dirección. El superíndice A indica análisis y B se refiere al modelo (*background*).

$$S(\psi)_{f,\theta}^A = \alpha \times S(\beta \times f, \theta \pm \delta)^B \quad (2)$$

Este procedimiento tiene dos ventajas principales, la primera es que al considerar sistemas de oleaje individuales se gana flexibilidad para atender situaciones especiales como eventos de diferentes procedencias o también eventos extremos, porque estos se presentan con características específicas en el espectro. La segunda es que el algoritmo opera en el espectro mismo [4], mas no en cantidades integrales como la altura significativa (que es la práctica común en los métodos actuales [5,6]). Esta estrategia acoge muchas de las restricciones físicas y de modelización a las cuales está sujeto el sistema. Por otro lado, las condiciones espaciales se satisfacen a través de la matriz Q , como se detalla a continuación.

La matriz de covarianza de errores del modelo

El principio fundamental de la asimilación de datos es que una observación puntual representa en mayor o menor grado las condiciones del espacio circundante, lo cual permite extrapolar el dato observado. La pregunta inmediata es que tan lejos se puede extrapolar una observación. Para que una variable medida en un punto sea considerada representativa en otro punto remoto, es necesario que las condiciones físicas guarden correlación, por lo que ciertas condiciones básicas como homogeneidad, isotropía, y ergodicidad deben ser satisfechas [7]. Esta información se especifica por medio de la matriz de covarianza de errores Q , cuyos elementos pueden ser calculados a través de su definición, dada por la ecuación 3.

$$\rho_{i,j} = \frac{\langle \sigma_i \sigma_j \rangle}{\sigma_i \sigma_j} \quad (3)$$

Donde el paréntesis angular indica la covarianza entre dos puntos i y j , σ representa la desviación estándar de los errores, y ρ es el coeficiente de correlación que puede ser cuantificado por medio del coeficiente de determinación (ecuación 4), usando el modelo de corrección de la ecuación 2.

$$R_{i,j}^2 = 1 - \frac{\sum_{f,\theta} (S_{f,\theta}^T - S_{f,\theta}^A)^2}{\sum_{f,\theta} (S_{f,\theta}^T - \overline{S_{f,\theta}^T})^2} \quad (4)$$

donde R^2 es el coeficiente de determinación, el numerador cuantifica las diferencias entre la verdad de referencia T y el análisis A , normalizado por el factor dado en el denominador. Con este esquema es posible conectar las correcciones espectrales con la variabilidad espacial. Además, como Q se determina individualmente para cada sistema de olas, toma en cuenta las propiedades físicas del sistema.



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
VICERECTORADO DE
INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN SOCIAL



Referencias

- [1] Greenslade, D.J.M. and I.R. Young, 2005: The impact of Altimeter Sampling Patterns on Estimates of Background Errors in a Global Wave Model, *J. Atmos. Oc. Tech.*, 22, No. 12 pp 1895 – 1917.
- [2] Waters, J. Lucy R. Wyatt, Judith Wolf, Adrian Hines, Data assimilation of partitioned HF radar wave data into Wavewatch III, *Ocean Modelling*, Volume 72, December 2013, Pages 17-31, ISSN 1463-5003, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ocemod.2013.07.003>
- [3] Portilla, Jesús, Francisco J. Ocampo-Torres, Jaak Monbaliu, 2009: Spectral Partitioning and Identification of Wind Sea and Swell. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, 26, 107–122.
doi: <http://dx.doi.org/10.1175/2008JTECHO609.1>
- [4] Tolman, H. L., 2003: Optimum Discrete Interaction Approximations for wind waves. Part I: mapping using inverse modeling. . NOAA / NWS / NCEP / OMB technical note 227
- [5] Lionello, P., H. Günther and P. A. E. M. Janssen, Assimilation of altimeter data in a global third generation wave model, *J. Geophys. Res.*, 97, 14453-14474, 1992.
- [6] Aouf, L., Lefèvre, J., & Hauser, D. (2006). Assimilation of Directional Wave Spectra in the Wave Model WAM: An Impact Study from Synthetic Observations in Preparation for the SWIMSAT Satellite Mission. *Journal Of Atmospheric & Oceanic Technology*, 23(3), 448-463
- [7] Siddons, L.A.; Wyatt, L.R.; Wolf, J., 2009 Assimilation of HF radar data into the SWAN wave model. *Journal of Marine Systems*, 77 (3). 312-324. 10.1016/j.jmarsys.2007.12.017



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

VICERECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN SOCIAL



Se recomienda que el proyecto, su metodología y diseño de la investigación, este sustentada en referencias bibliográficas actualizadas y que en el cronograma de ejecución del proyecto se considere el tiempo que toma la adquisición de equipos, reactivos y materiales de laboratorio.

Cronograma de trabajo anual:
Año 1

Actividad	MESES					
	1-2	3-4	5-6	7-8	9-10	11-12
Adquisición de un procesador (<i>blade</i>) para la computadora de alto rendimiento (HPC) del centro de modelización numérica	X					
Adquisición de computadoras de cálculo e instrumentos de medición	X					
Convenio con ESA y solicitud de los datos SAR de Sentinel-1	X	X				
Levantamiento y solicitud de datos medidos en el mar para la elaboración de casos de estudio	X	X	X			
Implementación del modelo WaveWatchIII en el HPC		X	X			
Verificación del modelo con datos satelitales de altímetro			X	X		
Salida de campo			X			
Desarrollo de métodos y algoritmos para el proceso de desambiguación de los datos SAR		X	X	X	X	X
Documentación y difusión de resultados preliminares en congresos internacionales (e.g., WISE conference, ESA workshop)				X	X	X

Año 2

Actividad	MESES					
	1-2	3-4	5-6	7-8	9-10	11-12
Desarrollo de métodos y algoritmos para el diseño de las matrices de covarianza de errores y los dominios espaciales de asimilación.	X	X	X	X		
Elaboración de casos de estudio y verificación de los cálculos de dominios espaciales de asimilación		X	X	X	X	
Desarrollo preliminar de los métodos de asimilación de datos (3DVAR, 4DVAR, Adjoint)				X	X	
Realización de un taller para la socialización y difusión de resultados, y construcción de redes estratégicas para la sustentabilidad y continuidad del proyecto.				X	X	
Salida de campo					X	
Documentación y difusión de resultados finales en congresos internacionales (e.g., WISE conference, ESA workshop)				X	X	X



**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
VICERECTORADO DE
INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN SOCIAL**



- Justificación del equipo requerido

Blade HPC: actualmente el HPC (*high performance computer*) del centro de modelización matemática se encuentra a su máxima capacidad de uso y la instalación y ejecución tanto del modelo de oleaje (WaveWatchIII) como de sus componentes de post-procesamiento requieren capacidad adicional.

Las computadoras de tipo workstation son indispensables tanto para las implementaciones de los algoritmos de asimilación de datos, como para el manejo de los resultados, que por tratarse de datos medioambientales incluyen muchas variables y dimensiones.

Se requiere un sensor de presión para la medición de oleaje y un correntómetro para corrientes, las mismas que constituyen las variables más básicas del sistema. El levantamiento de estos datos es necesario para hacer una verificación de los datos principales a utilizarse que serán de los instrumentos satelitales.

7 Fecha de inicio
(Indique cuando iniciaría este proyecto de investigación) 23/06/2014

8 Tiempo dedicación docentes, infraestructura, equipamientos y fondos adicionales.

- Tiempos de dedicación semestral del Director de proyecto, de los docentes participantes y otros colaboradores. (Máximo 200 horas por semestre para el Director y 100 horas por semestre para los docentes colaboradores)

300h (director)
200h (colaborador)

- Infraestructura y equipos disponibles para la ejecución del proyecto

- El Centro de Modelización Matemática de la EPN cuenta con un servidor de cálculo en el que se implementará el modelo de oleaje
- Por acuerdo con la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) se tiene licencia para el uso del modelo WaveWatchIII y datos meteorológicos de la base de datos de NCEP
- Otras licencias software para para el procesamiento de datos

- Otros fondos de otros organismos (si los hubiere)

9 Presupuesto estimado para la ejecución del presente proyecto

Se recomienda que los costos de los equipos, reactivos y materiales de laboratorio, estén sustentados con proformas actuales:


Año 1

Lista de ítems (por favor especifique) Presupuesto detallado adjunto en formato Excell	Cantidad solicitada (US \$)
1. Contratación de pasantes	
Subtotal	10,800.00
2. Equipos	
Subtotal	28,900.00



**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
VICERECTORADO DE
INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN SOCIAL**



3.	Viajes técnicos y de muestreo	
	Subtotal	2,250.00
4.	Presentación de ponencias en congresos internacionales	
	Subtotal	4,000.00
TOTAL AÑO 1		45,950.00
(Proyectos Semilla hasta US\$ 10.000,00 más IVA)		
(Proyectos Inter y Multidisciplinarios US\$ 40.000,00 más IVA)		
Año 2		
	Lista de ítems (por favor especifique)	Cantidad solicitada (US \$)
5.	Contratación de pasantes	
	Subtotal	10,800.00
6.	Viajes técnicos y de muestreo	
	Subtotal	4,320.00
7.	Presentación de ponencias en congresos internacionales	
	Subtotal	4,000.00
8.	Taller de difusión y proyección	
	Subtotal	14,500.00
TOTAL AÑO 2		33,620.00
(Proyectos Inter y Multidisciplinarios US\$ 40.000,00 más IVA)		
TOTAL		79,570.00
10	Nombre:	Jesús Portilla
	CC:	0401024021
DECLARACION DEL JEFE DE DEPARTAMENTO		
<p>Esta propuesta ha sido aprobada por el Consejo de Facultad, en Sesión del 22 de Mayo del 2014 mediante Resolución No. 042-2014 y las instalaciones, incluyendo personal, edificios, equipo y recursos financieros están a disposición del aplicante de acuerdo con las especificaciones que se encuentran en esta aplicación.</p>		
 JEFE DEL DEPARTAMENTO Nombre: CLAUDIO E. ALVAREZ P. CC: 010017820-1		Quito, 3 junio del 2014 (lugar y fecha)