

Modelado numérico de la deriva y envejecimiento de los hidrocarburos vertidos al mar. Aplicación operacional en la lucha contra las mareas negras



ERIC COMERMA PIÑA

Junio 2004

Memoria redactada para optar al grado
de Doctor en Ciencias del Mar
por la UPC- UB - CSIC

Dirigida por
Dr. Manuel Espino Infantes



RESUMEN

Uno de los principales problemas que afectan al medio marino son los repetidos episodios de contaminación por hidrocarburos. A los grandes derrames provocados por petroleros accidentados hay que sumarle un volumen anual prácticamente idéntico, debido a vertidos operacionales, residuales o derivados del creciente uso de los combustibles fósiles. En el caso de las mareas negras, las consecuencias socio-económicas son terribles para las regiones afectadas. Pero por otro lado, la contaminación de tipo crónica acaba causando daños prácticamente irreversibles en el ecosistema marino y en los recursos costeros. Como respuesta a la inquietud de una sociedad cada vez más sensibilizada con los problemas medioambientales, se plantea como principal objetivo del proyecto de investigación el desarrollo de herramientas numéricas de previsión que sirvan de apoyo a la gestión de crisis por contaminación marina.

En primer lugar, se analizan las principales fuentes de contaminación por hidrocarburos en el mar, típicamente asociadas al transporte marítimo, así como sus principales consecuencias socio-económicas y medioambientales. Por otra parte, se describen las herramientas disponibles de prevención y previsión, apoyo fundamental en la toma de decisiones durante la gestión de una crisis similar. Existen dos marcos diferentes en los cuales pueden desarrollarse este tipo de herramientas: los Planes de Contingencias y la Oceanografía Operacional. Cada uno de ellos vendrá definido por unos requisitos específicos de cara al modelado.

Seguidamente, se revisa el estado actual del conocimiento sobre el conjunto de procesos físico-químicos que afectan a los hidrocarburos derramados en el mar. El objetivo es evaluar los principales procesos de transporte, dispersión y degradación de los hidrocarburos en el medio marino, en vistas a implementar las formulaciones necesarias en una herramienta numérica de previsión. Los hidrocarburos derramados en el mar se separan en diversas fases o componentes: evaporada, disuelta, dispersada y flotante. Así, para cada una de estas fases se distinguen, por un lado los principales forzamientos del transporte a tener en cuenta en el modelado hidrodinámico y de transporte; y por otro lado, los procesos físico-químicos que modifican las propiedades del contaminante que definirán el modelo de degradación. De esta forma, los modelos se acoplan introduciendo la evolución de la reología del contaminante y la transferencia de masa entre las distintas fases.

Finalmente, se muestra la implementación del modelado mediante varios casos prácticos, a dos escalas de resolución distintas. Para ello, se utilizan dos aproximaciones distintas para el modelado del transporte: el enfoque euleriano para escalas pequeñas y el enfoque lagrangiano, para escalas regionales. Los procesos de transporte y envejecimiento serán mejor o peor reproducidos en el modelado en función de la escala y del enfoque utilizados.

Als meus pares

*Mas se paro um momento, se consigo
Fechar os olhos, sinto-os a meu lado
De novo, esses que amei vivem comigo...*

Antero de Quental [1842-1891]

Agradecimientos, agraiments, remerciements, ...

Després de tant de temps i no sé com començar. Fa més de quatre anys que porto pensant en aquest moment. En escriure aquestes línies d'agraïments, pensant en el principi... del final. Ha sigut un camí llarg, per allò de "*se hace camino al andar...*". Em vaig proposar no perdre ni un sol dia la il·lusió, la motivació de fer aquest projecte. Si ho he aconseguit és gràcies a vosaltres.

Gracias Manolo, por ofrecerme la oportunidad de hacer la tesis que hoy terminamos. Espero no olvidar nunca aquel día del mes de julio del 99 en el que, brindando en el despacho del director de la escuela, me propusiste esta tesis... Gracias por haber aguantado todos mis rollos y mis dudas. El viaje a valido la pena. Gracias Agustín también, por las intervenciones aquí y allá; aún te debo aquel café por el premio de Gijón.

Gràcies a la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC) per haver -me finançat la present tesi doctoral amb una Beca UPC per a la Recerca, i per el suport a la seva difusió.*

Gracias Manuel (González), porqué sin saberlo fuiste, en mis inicios, un maestro en el arte de la programación en fortran. Gracias por tu paciencia cuando me repetías por n-ésima vez aquellas factorizaciones mágicas... A tu, Biel, el nostre home renaixentista, músic, artista y *modelador* més internacional, mil gràcies per els teus comentaris. Espero no olvidar les nostres xerrades nocturnes als ponts de Toulouse arreglant el món i intercanviant idees pre-revolucionàries.

Merci aussi à toute la famille Previ/Mar de Météo-France, Pierre, Patrick, Phillippe & Co. pour votre accueil, pour votre temps et patience. J'ai eu toute une expérience chez -vous.

Merci à tout le monde du Cedre, pour m'avoir invité à participer, à travailler avec vous, en particulier merci pour l'expérience réelle de crise à Brest dont j'ai tellement appris. C'est un travail généreux que vous faites, toujours en arrangeant ce que les autres abiment. J'envie la façon de comment vous réussissez à faire de votre travail un plaisir. Merci à tous de votre chaleureux accueil, Georges, Claudine, Michel, Monique, Fanc'h, Julien, Anne...

Gracias a todos aquellos que sin saber, con su trabajo, nos ayudan a todos a comprender, querer y mimar nuestros mares. Estoy pensando en la gente del García del Cid, porque por el poco tiempo que he pasado con ellos (Modesto, Octavio...) he conocido lo maravilloso (y duro) que es el mar. Gracias también a todos aquellos que hacen las cosas más fáciles. A nuestras secretarias. Estoy pensando en la gente de la NOAA, los que se curran el Ferret, las DODS, todo lo que sirva para conocer mejor el océano. A Marisol, Emilia, porque nos cuidan. Felicidades a la gente del *Coherens*, por un trabajo bien hecho. Gracias a todos por vuestra dedicación.

Gracias mares y océanos por aguantar todas nuestras porquerías y no devolvénnoslas más a menudo. Cada vez que he visto una puesta de sol en vuestro horizonte he recordado para que estaba haciendo esta tesis. Seguid siendo azules.

Gracias a Bebo (Valdés) y a Ruben (González), por vuestra música cubana; chicos, no sabéis lo que me habéis animado estos últimos tiempos; no podía imaginar la emoción que erais capaces de transmitir con vuestra música.

* Una vez defendida y aprobada, esta tesis podrá ser consultada en la base de datos *Tesis Doctorals en Xarxa (TDX)*, en la direcció: <http://www.tdx.cesca.es/>

Gracias Mari y Poli, porqué tenéis una hija maravillosa. Por vuestra tierra que es fascinante, porque me rehago cada vez que la veo. Viva el pisto y el asadillo (y pensar que al principio no me gustaba...).

Gràcies a la family, als meus pares, gràcies perquè sóc el que m'heu donat tots aquest anys, que ja són molts; les meves virtuts són totes vostres. Em pregunto si hi ha alguna manera de tornar-vos el que m'heu donat. Mita, m'agradaria que el avi sàpigues que el seu net també va camí de ser doctor. Per cert, el poema del principi és per els avis, els vostres pares. Perquè sense ells tampoc seria gran cos a.

Y a ti, Lola. Por transmitirme esa alegría radiante, desbordante. Por creer en las cosas con tanta pasión. Por haberme hecho feliz y dichoso, más cuando me has visto tan poco estos últimos... ejem ¿meses? Por tu paciencia, por el brillo de tu sonrisa al llegar a medianoche, por decirme que no es grave cuando te cuento que encontré un error en el modelo... Pues sí, tienes razón. *Nigth and day you are the one*. Esta tesis es media tuya, porque todo el tiempo invertido que me ha costado, lo he perdido por no compartirlo contigo. Ojalá el mundo tuviera tu ilusión.

Como dice un amigo, no os puedo dedicar la tesis porque sois mucho más que eso. Venga, besos y abrazos a tod@s,

Barcelona, la noche del 7 de Junio 2004