

Aplicacions del CPTU en Geociències Marines: estudi de casos de la Mediterrània

Sara Lafuerza Colas

ADVERTIMENT. La consulta d'aquesta tesi queda condicionada a l'acceptació de les següents condicions d'ús: La difusió d'aquesta tesi per mitjà del servei TDX (www.tesisenxarxa.net) ha estat autoritzada pels titulars dels drets de propietat intel·lectual únicament per a usos privats emmarcats en activitats d'investigació i docència. No s'autoritza la seva reproducció amb finalitats de lucre ni la seva difusió i posada a disposició des d'un lloc aliè al servei TDX. No s'autoritza la presentació del seu contingut en una finestra o marc aliè a TDX (framing). Aquesta reserva de drets afecta tant al resum de presentació de la tesi com als seus continguts. En la utilització o cita de parts de la tesi és obligat indicar el nom de la persona autora.

ADVERTENCIA. La consulta de esta tesis queda condicionada a la aceptación de las siguientes condiciones de uso: La difusión de esta tesis por medio del servicio TDR (www.tesisenred.net) ha sido autorizada por los titulares de los derechos de propiedad intelectual únicamente para usos privados enmarcados en actividades de investigación y docencia. No se autoriza su reproducción con finalidades de lucro ni su difusión y puesta a disposición desde un sitio ajeno al servicio TDR. No se autoriza la presentación de su contenido en una ventana o marco ajeno a TDR (framing). Esta reserva de derechos afecta tanto al resumen de presentación de la tesis como a sus contenidos. En la utilización o cita de partes de la tesis es obligado indicar el nombre de la persona autora.

WARNING. On having consulted this thesis you're accepting the following use conditions: Spreading this thesis by the TDX (www.tesisenxarxa.net) service has been authorized by the titular of the intellectual property rights only for private uses placed in investigation and teaching activities. Reproduction with lucrative aims is not authorized neither its spreading and availability from a site foreign to the TDX service. Introducing its content in a window or frame foreign to the TDX service is not authorized (framing). This rights affect to the presentation summary of the thesis as well as to its contents. In the using or citation of parts of the thesis it's obliged to indicate the name of the author.



Universitat de Barcelona
Departament d'Estratigrafia, Paleontologia i Geociències Marines

Aplicacions del CPTU en Geociències Marines: estudi de casos de la Mediterrània

Memòria de Tesi Doctoral realitzada per
Sara Lafuerza

Sota la direcció del
Dr. Miquel Canals i Artigas

Barcelona, Novembre del 2009

La doctoranda,

Sara Lafuerza

El director,

Miquel Canals

CAPÍTOL 1

INTRODUCCIÓ

L'exploració dels oceans ha estat fortament impulsada per la recerca de recursos vivents i no vivents, i per la instal·lació d'estructures en el fons, com gasoductes, oleoductes, cables elèctrics i de comunicacions, a més d'estructures necessàries per a l'explotació d'hidrocarburs. Els anys 20, l'explotació d'hidrocarburs estava restringida a petites infraestructures ancorades a profunditats de menys de 20 m al Golf de Mèxic i a la Mar Càspia (Poulos, 1988). El millor coneixement de l'ambient marí i del seu fons i subfons i un ràpid desenvolupament tecnològic permeteren desplegar grans plataformes petrolieres, primer a la vora de la plataforma continental i, més endavant, a profunditats majors arreu dels oceans. Era la cursa pels hidrocarburs "profunds" (*deep*) i "ultra-profunds" (*ultra-deep*), encara plenament vigent. Aquests avenços també han fet possible el transport submarí de gas, petroli, electricitat i informació mitjançant diferents tipus de tubs i cables, la connexió de territoris com, per exemple, el Regne Unit i França a través del túnel del Canal de la Mànega, i l'aprofitament de l'energia eòlica en camps eòlics marins (Fig. 1.1), entre molts altres avenços que només fa uns quants anys haurien semblat propis de la ciència-ficció. Totes aquestes accions, i els projectes que hi ha darrera, tenen un element en comú: la necessitat de caracteritzar quantitativament i en continu les propietats dels sediments marins i determinar-ne la seva estabilitat, especialment en talussos amb acumulacions metastables de sediment, que és on es produeix la majoria de processos de desestabilització (Lee et al., 2007). L'expressió més coneguda de la inestabilitat submarina són els diferents tipus d'esllavissaments.

Podem considerar que l'interès pels esllavissaments submarins s'inicià a rel de l'esdeveniment de 1929 a Grand Banks, al sud de l'illa de Terranova (Canadà), on un terratrèmol de magnitud 7,2 a l'escala de Richter (Fine et al., 2005) va provocar un seguit d'ensulsiades que malmeteren nombrosos cables submarins i generaren un tsunami que causà greus danys a la zona



Figura 1.1. Imatge del camp eòlic marí més gran del món, *Horns Rev*, situat a Dinamarca (<http://www.hornsrev.dk/>).

costanera (Fig. 1.2a). Foren Heezen i Ewing (1952) qui demostraren que el terratrèmol havia provocat un seguit d'esllavissaments responsables del trencament dels cables submarins.

En una data més recent, el 1969, les importants destrosses a les plataformes petrolieres marines de Louisiana (EEUU) per l'huracà Camille, el qual formà onades de fins 23 m d'alt, qüestionaren novament el coneixement dels processos d'inestabilitat del fons marí. Estudis sobre les conseqüències de l'huracà van revelar que el fons havia estat excavat fins 12 m i que els danys causats a les estructures petrolieres es degueren a moviments de massa per efecte de l'onatge (Sterling i Strohbeck, 1975). Quedà així demostrat que els esllavissaments submarins també poden ésser induïts per l'onatge (Rahman, 1991) i que la baixa resistència dels sediments estava directament lligada a taxes de sedimentació elevades i a la generació de sobrepressions (Garrison, 1977). Malgrat aquesta negativa experiència, les plataformes petrolieres del Golf de Mèxic segueixen essent malmeses per l'ocurrència de moviments de massa cada cop que es produeixen huracans, com il·lustra el cas d'una de les plataformes més grans del món, la *Thunder Horse*, el 2005 (Fig. 1.2b).

Els esllavissaments submarins també són un element de risc per a les zones costaneres, com mostra el cas, geogràficament molt proper, dels considerables danys al port i l'aeroport de Niça, aleshores en fase d'ampliació, el mes d'octubre de 1979, a causa d'un tsunami generat per un

esllavissament submarí (Cochonat et al., 1993; Klaucke i Cochonot, 1999; Dan et al., 2007). Un altre exemple proper, tot i que no tant en el temps, és el devastador tsunami de Lisboa de l'any 1755 com a conseqüència d'un terratrèmol de magnitud 8,5 amb una possible contribució de moviments de massa submarins (Gracia et al., 2003). L'any 1998 part de la costa nord de Papúa-Nova Guinea va ser arrasada per un tsunami produït per esllavissaments submarins induïts per un terratrèmol de magnitud 7 (Geist, 2000). Un dels cassos més estudiats per la comunitat científica mercès a l'especial interès de la indústria petrolera és el complex d'esllavissaments de Storegga, situat al marge noruec damunt el jaciment gegant de gas d'Ormen Lange. Els esllavissaments de Storegga tenen caràcter retrogressiu i un clar potencial tsunamigènic. L'esdeveniment més recent s'ha datat al voltant de 8200 anys AP (Kvalstad et al., 2005). Per més detalls sobre esllavissaments submarins i els seus efectes vegeu Canals et al. (2004a). Vegis també el capítol 2.5, més endavant.

Davant la magnitud dels efectes que poden arribar a tenir, en la majoria d'intervencions en el fons marí caldria avaluar els possibles riscos d'esllavissament. Una avaluació rigorosa d'aquest tipus de risc requereix la integració de dades provinents de disciplines com la geotècnica, la sedimentologia i la geofísica. Hom identifica i caracteritza els esllavissaments submarins i, en general, les zones inestables mitjançant cartografies batimètriques d'alta resolució, sísmica de reflexió 2D i 3D, i l'anàlisi de les propietats físiques i geotècniques dels sediments. La millor forma de conèixer les propietats dels sediments i la seva variabilitat espacial és la combinació d'assajos *in situ* i mesures segons les tècniques de laboratori pròpies de la mecànica de sòls. Els assajos *in situ* permeten mesurar les propietats dels sediments en el seu emplaçament natural amb una velocitat d'execució generalment elevada, la qual cosa els ha convertit en eines cada cop més utilitzades en exploració marina, on el cost de les operacions és molt elevat.

En aquesta Tesi Doctoral ens centrem en diverses aplicacions de l'assaig geotècnic *in situ* anomenat "assaig de penetració de con" (*cone penetration test, CPTU*, on la "u" fa referència a la pressió intersticial). Comparada amb altres tècniques, com el mostreig de sediment o l'adquisició de dades geofísiques, l'assaig de CPTU és poc conegut per la major part del col·lectiu geològic, fet que contrasta amb la seva àmplia aplicació en el camp de l'enginyeria civil. Aquestes circumstàncies, i també la possibilitat d'accedir a paquets de dades de CPTU de gran qualitat, ens dugué a plantejar aquest treball, entès com una mostra de l'aplicació del CPTU a diferents contextos sedimentaris de la Mediterrània, fent èmfasi en el seu valor com a eina per a l'anàlisi de l'estabilitat del recobriment sedimentari dels fons marins.

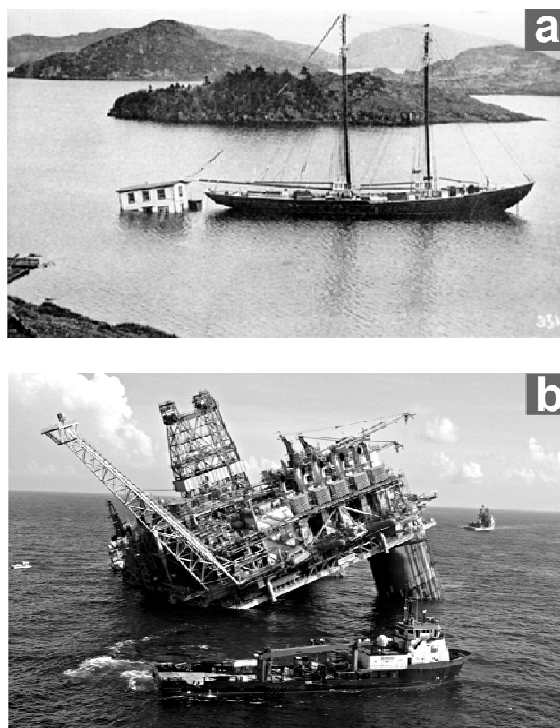


Figura 1.2. a, Efectes de l'esllavissament del Grand Banks (<http://earthquakescanada.nrcan.gc.ca/>); b, danys a la plataforma petrolera Thunder Horse per l'efecte de moviments de massa associats a un huracà (2005) (Diaz et al., 2006 i Rowell, 2007).