

# Riesgos sísmicos relacionados con el proyecto de almacenamiento subterráneo de gas natural en el Parque Nacional de Doñana

**Autores: Miguel de las Doblas Lavigne, José Manuel Cantó Romera y Julio Barea Luchena, doctores en Ciencias Geológicas**

---

El Parque Nacional de Doñana (PND) se encuentra dentro del peligroso “polvorín sísmico” del SO de España que ha sido azotado por los terremotos y tsunamis históricos más devastadores de la península Ibérica (Enlaces 1 y 2), la mayoría de ellos con epicentros en el Atlántico proximal al SO de Portugal y en la mitad N del Golfo de Cádiz (hasta 18 seísmos de gran magnitud; Martín-Dávila & Pazos, 2003): el gran seísmo de Lisboa de 1755 (magnitud 8.5 a 9, tsunamis de hasta 15 m de altura, 60.00 víctimas mortales), el seísmo del Cabo de San Vicente de 1969 (magnitud 7.8), etc. El periodo de recurrencia de esta sismicidad destructiva está entre 300 a 2000 años (Ruiz et al., 2005; Gutscher et al., 2002) y todos los especialistas afirman que el Golfo de Cádiz y sus costas presentan un alto riesgo sísmico y tsunamigénico (Enlaces 1 y 2).

Los riesgos sísmicos asociados a las plataformas de inyección/almacenamiento de gas natural que se pretenden instalar en el PND son de dos tipos: 1) Sismicidad inducida (de origen antrópico; Enlaces 3) por el propio proceso de inyección forzada y almacenamiento de hidrocarburos en una corteza sismogénica (como ocurrió en la Plataforma Castor en el Golfo de Valencia; Enlace 4), con el agravante de que el PND está localizado en la zona costera con más riesgo sísmico de la península ibérica. 2) Riesgos derivados de posibles terremotos y tsunamis “naturales” (sin relación con las actividades de inyección/almacenamiento) que son usuales en este “polvorín sísmico” y que podrían tener efectos devastadores sobre las poblaciones, las instalaciones de hidrocarburos y el medioambiente: inundaciones, roturas, explosiones, hundimientos, escapes masivos de gas, contaminación, etc.

La estructura del margen continental del Golfo de Cádiz es el resultado de una compleja evolución tectónica Alpina del Cretácico Superior a la actualidad: 1) formación de la cordillera compresional Bético-Rifeña; 2) colapso extensional del edificio orogénico generando el Mar de Alborán y el Arco de Gibraltar (Doblas & Oyarzun, 1989a,b; Doblas et al., 2007); y, 3) fase final transcurrente sinistral a lo largo de la zona de cizalla NE-SO “Trans-Alborán” como resultado de la convergencia NS de África hacia Eurasia (Doblas et al., 1991).

La ancha zona interplaca que separa África de Eurasia en el Mediterráneo occidental es de las más complejas del mundo y actualmente existen varios modelos plausibles para explicar el origen del Mar de Alborán (Doblas et al., 2007): subducción intraoceánica o intracontinental, colapso extensional, apilamiento compresional, hundimiento de raíces litosféricas, zonas de cizalla transtensionales, elevaciones mantélicas y teorías mixtas. Aunque muy especulativa, la hipótesis más aceptada hoy en día es la de una subducción activa a lo largo de un arco cóncavo dirigido hacia el E en el Golfo de Cádiz con la corteza oceánica atlántica hundiéndose bajo el Arco de Gibraltar y el Mar Mediterráneo occidental (Enlaces 1; Morales et al. 1999; Gutscher et al. 2002; Duarte et al., 2013). Este modelo tectónico es complejo y controvertido ya que propone la existencia de una microplaca con bordes activos tipo Caribe en el margen pasivo del Atlántico central-oriental y sugiere que tres zonas de subducción coexisten en el SO de España: 1) una zona oceánica activa en el Golfo de Cádiz que penetra por el PND mediante una megafalla inversa paralela al valle del Guadalquivir que se adentra hacia el ENE en el continente; 2) una zona oceánica inactiva siguiendo la curvatura del Arco de Gibraltar; y, 3) una zona intracontinental activa a lo largo de la falla ENE-OSO del Guadalquivir, separando el macizo Ibérico hercínico al N y la cordillera Bética alpina al S. Para mayor complicación, en este dominio se localiza la megafalla transformante intraoceánica que conecta las islas Azores al O con el estrecho de Gibraltar al E. Por consiguiente, en el entorno del Golfo de Cádiz se juntan tres zonas de subducción y una falla transformante y esta es una situación sismotectónica altamente inestable y poco habitual.

Además de una corteza sísmicamente inestable, el manto sublitosférico del Golfo de Cádiz pertenece a una gigantesca zona “caliente/inestable” caracterizada por fallas lítricas extensionales, magmatismo y fenómenos mantélicos verticales de elevación/hundimiento como respuesta a un proceso de canalización subhorizontal de una megapluma desde las Islas de Cabo Verde al SO hasta el centro de Europa al NE (Oyarzun/Doblas et al., 1997).

Las zonas costeras españolas y portuguesas del Golfo de Cádiz presentan una neotectónica activa con abundantes evidencias de terremotos y tsunamis recurrentes desde el cuaternario reciente hasta hoy en día, demostrando la inestabilidad sismotectónica de este sector de la península ibérica. La actividad sísmica actual de las costas del Algarve queda evidenciada por movimientos verticales diferenciales, sismitas/tsunamitas y estructuras de la deformación neotectónicas (fallas activas, diaclasas y pliegues; Dias & Cabral, 2002). La misma actividad sismotectónica reciente ocurre en diferentes localidades de la costa SO de España: 1)

En el entorno de la ciudad de Huelva los perfiles sísmicos muestran que las dos secuencias inferiores (secuencia regresiva pleistocena y secuencia transgresiva holocena) están cortadas por fallas extensionales activas (con saltos superiores a 4 m), elevaciones/hundimientos diferenciales de bloques (horsts y grabens) y sismitas/tsunamitas (Morales, 2016); 2) La ciudad de Cádiz presenta una neotectónica con sistemas conjugados de fallas activas (NE-SO y NO-SE) y movimientos verticales diferenciales de la costa (Domínguez-Bella, 2008); 3) La Bahía de Bolonia en Cádiz (supuesto emplazamiento del futuro túnel del Estrecho) presenta muchos signos de una neotectónica actual con fallas activas normales y direccionales (ocasionalmente con escarpes de falla), grandes deslizamientos y elevaciones/hundimientos costeros

recientes, sismitas, fenómenos de licuefacción y deformaciones sísmicas de las ruinas romanas de Baelo Claudia (Silva et al., 2006).

En relación con el proyecto de almacenamiento de gas en el PND, son especialmente preocupantes las múltiples evidencias de una actividad sísmica/tsunamigénica tardicuaternaria a actual en esta zona (IGME, 2005; Ruiz et al., 2005; Enlaces 5 & 6). En esta zona se depositaron 200/300 metros de sedimentos areno-arcillosos Pliocuaternarios en ambientes deltaicos, eólicos, aluviales, litorales y fluviales, los clásicos materiales detríticos blandos poco consolidados muy peligrosos en caso de megaterremotos por su baja resistencia a las sacudidas sísmicas: esto es lo que ocurrió en la bahía de Port-Au-Prince donde murieron más de 200.000 personas en el año 2010 como consecuencia del devastador seísmo de 7.0 de Haití (Doblas, 2010). En el Estuario de Huelva existen evidencias sedimentológicas de la acción dinámica de fallas tectónicas actuantes hace 2.000 años y geofísicas (sísmica de reflexión) que demuestran el altísimo grado de inestabilidad que fracturas y basculamientos paralelos a la ría inducen en las balsas de fosfoyesos asentadas sobre las marismas del río Tinto. Existen evidencias geológicas de que los materiales depositados en este entorno están afectados por una tectónica muy actual. La certeza de estos movimientos tectónicos tan recientes se materializa en el contexto de nuevos descubrimientos geológicos que admiten una reactivación post-orogénica de antiguas fallas tardihercínicas en el entorno extensional que supone la apertura del mar de Alborán. Sistemas de fallas conjugadas que vendrían actuando de forma continuada desde finales del Mioceno afectando a todos los materiales depositados con posterioridad. La neotectónica condiciona claramente los recientes cambios en el curso del río Guadalquivir (establecido hoy en día a lo largo de la directriz NE-SO de una megafalla activa), así como la orientación de la red fluvial secundaria del PND según la directriz NO-SE del sistema conjugado de fallas sismogenéticas (IGME, 2005; Enlace 5). La inestabilidad sismotectónica actual del PND queda confirmada por un abombamiento del litoral que está rodeado de grandes deslizamientos gravitacionales, ambos condicionados por el domo del Abalarío (IGME, 2005). Los sedimentos recientes del PND indican que el dominio costero del Golfo de Cádiz tiene un largo historial tsunamigénico con al menos 20 eventos en los últimos 7000 años que han trastocado completamente la evolución normal de este litoral (Ruiz et al., 2005; Enlace 6). Se calcula que el periodo de recurrencia para que se repita un evento sísmico/tsunamigénico catastrófico del tipo Lisboa 1755 (magnitud de 8.5 a 9.0) en el Golfo de Cádiz sería de entre 300 a 2000 años, es decir que no es inconcebible que vuelva a ocurrir entre 2055 y 2155 (Gutscher et al., 2002; Ruiz et al., 2005; Enlace 6).

Existen infinidad de estudios geológicos (geofísicos de alta resolución, geológicos, tectónicos, sedimentarios, etc.) de la plataforma continental y las llanuras abisales del margen ibérico del Golfo de Cádiz ya que el subsuelo marino parece contener bastantes hidrocarburos (Medialdea, 2004; Llave, 2004; Domínguez-Bella, 2008; Matias et al., 2011; Vázquez et al., 2010a,b; Somoza et al., 2014). Estas investigaciones han demostrado que se trata de un entorno sismotectónico altamente inestable con una neotectónica y sismicidad recientes muy activas, incluyendo: 1) Sistemas conjugados de megafallas transcurrentes NE-SO (continuación de las directrices tectónicas continentales tardihercínicas) y NO-SE. 2) La megafalla transformante intraoceánica de Azores Gibraltar con dirección EO. 3) Numerosas fallas activas extensionales subverticales (NS, EO, NO-SE) y lístricas subhorizontales que

presentan ocasionalmente escarpes de falla visibles en el fondo marino. 4) Abundantes escapes de gas metano en forma de “volcanes de fango” que demuestran la escasa estanqueidad del subsuelo de esta región donde se pretenden almacenar cantidades masivas de gas natural en el PND. 5) Unidades tectonosedimentarias indicativas de las perturbaciones sísmicas y tsunamigénicas comunes en la zona (contornitas, tsunamitas, sismitas, etc.). 6) Gigantescos mantos alóctonos, olistostrómicos, flyschoides o prismas de acreción emplazados gravitacionalmente hacia el O (La Herradura, Campo de Gibraltar, Guadalquivir, Subético, etc.). 7) Megadeslizamientos de los bordes inestables del talud de la plataforma continental ibérica. 8) Plegamiento de los sedimentos marinos como resultado de una tectónica salina de domos y diapiros ascendentes activados por la inestabilidad sísmica regional y los movimientos verticales diferenciales.

Desde hace varias décadas llevan explotando varios permisos para hidrocarburos en este polvorín sísmico del suroeste peninsular: 1) En Sevilla y Huelva a lo largo del Río Guadalquivir (El Ruedo, El Romeral, Las Barreras, Marismas); 2) En el Golfo de Cádiz al SO de la desembocadura de esta arteria fluvial (Poseidón, Cyre, Calypso). Las administraciones responsables de conceder/controlar estas explotaciones no ofrecen ninguna información pública sobre las actividades, resultados o incidencias ocurridas en las mismas, amparándose en las cláusulas de confidencialidad de las empresas de hidrocarburos (Enlaces 7). El Informe de Impacto Ambiental que debe ser emitido antes de poder inyectar/almacenar gas en el PND tiene que incluir un minucioso estudio geofísico/tectónico que evalúe el riesgo sísmico/tsunamigénico de la zona y para ello tendrán que tener en cuenta la posible sismicidad inducida por las plataformas de extracción de hidrocarburos que llevan funcionando varias décadas en la región.

Investigaciones recientes demuestran que el calentamiento global del planeta inducido por las actividades antrópicas tiene implicaciones directas en el comportamiento de la geosfera (Williams, 2011; Mc.Guire, 2012), incluyendo la fusión de los casquetes polares, la subida generalizada del nivel del mar y el aumento de los “terremotos climáticos” en las zonas costeras inundadas. Según la teoría de la hidrosismicidad, las variaciones del agua en la corteza terrestre tienen repercusiones en su estado de esfuerzos (este es un elemento lubricante muy pesado), pudiendo activar terremotos en fallas sismogénicas (ej., Doblas et al., 2014). La subida del nivel del mar en el Mediterráneo se ha duplicado en estos siglos (20 cm en el XX y 35/80 en el XXI) alcanzando máximos de 10 mm al año en las costas andaluzas de Alborán desde 1990 (Enlace 8). Se prevé que estas pérdidas de costa en zonas bajas de playas y deltas como el PND pueden tener efectos devastadores en los ecosistemas, las poblaciones, las instalaciones industriales (ej., las plataformas de inyección/almacenamiento de gas natural), aumentando notablemente el riesgo de seísmos y tsunamis en sus fallas activas una vez que queden parcialmente inundadas.

---

#### ENLACES WEB

Enlaces 1:

[http://www.abc.es/hemeroteca/historico-27-08-2004/abc/Sociedad/seismos-tan-destructivos-como-el-de-lisboa-en-1755-pueden-sacudir-la-peninsula-iberica-cada-mil-a%C3%B1os\\_9623299950444.html](http://www.abc.es/hemeroteca/historico-27-08-2004/abc/Sociedad/seismos-tan-destructivos-como-el-de-lisboa-en-1755-pueden-sacudir-la-peninsula-iberica-cada-mil-a%C3%B1os_9623299950444.html)

<https://es.noticias.yahoo.com/blogs/cuaderno-de-ciencias/una-nueva-zona-subducci%C3%B3n-podr%C3%ADa-estar-naciendo-en-080530481.html>  
<http://geology.gsapubs.org/content/early/2013/06/05/G34100.1>  
[http://www.consumer.es/web/es/medio\\_ambiente/2004/08/27/107971.php](http://www.consumer.es/web/es/medio_ambiente/2004/08/27/107971.php)  
<http://www.elmundo.es/elmundo/2005/11/18/ciencia/1132302064.html>  
[http://elpais.com/diario/2000/01/24/andalucia/948669738\\_850215.html](http://elpais.com/diario/2000/01/24/andalucia/948669738_850215.html)

Enlaces 2:

<http://www.publico.es/ciencias/bahia-cadiz-zona-mas-expuesta.html>  
<http://www.lavozdigital.es/cadiz-provincia/201411/20/tsunami-cadiz-riesgo-20141120172436-pr.html>  
[http://www.lainformacion.com/catastrofes-y-accidentes/accidentes-maritimos/la-costa-de-cadiz-volvera-a-sufrir-un-tsunami-como-el-de-1755\\_rb5Xjgkng3B3XYGsHSVmG2/](http://www.lainformacion.com/catastrofes-y-accidentes/accidentes-maritimos/la-costa-de-cadiz-volvera-a-sufrir-un-tsunami-como-el-de-1755_rb5Xjgkng3B3XYGsHSVmG2/)  
<http://www.20minutos.es/noticia/2587561/0/preciden-maremoto/cadiz-volvera/suceder/>  
<http://www.europapress.es/andalucia/sevilla-00357/noticia-huelva-bahia-cadiz-zonas-espanolas-mas-riesgo-real-sufrir-tsunami-expertos-20141121115030.html>  
<http://www.elperiodico.com/es/noticias/ciencia/costa-espanola-tiene-riesgo-real-sufrir-tsunami-3704394>

Enlaces 3: <http://sismicidadinducida.blogspot.com.es/>

<http://www.elmundo.es/elmundo/2013/10/04/ciencia/1380912923.html>

<http://www.ideal.es/granada/rc/20130404/sociedad/sismicidad-lorca-201304041639.html>

<https://noticias.terra.es/espana/videos/lorca-pudo-ser-un-caso-de-sismicidad-inducida-dice-experto.319230.html>

Enlace 4: <http://www.ecologistasenaccion.es/article26671.html>

Enlace

5: <http://www.imatv.es/es/conferencia/eventos-tsunamigenicos-en-las-costas-del-golfo-de-cadiz/joaquin-rodiguez.../361>

Enlace 6: <https://www.youtube.com/watch?v=z4aH01c-sVg&feature=youtu.be>

Enlaces 7: <http://www.ecologistasenaccion.org/article30222.html>

<http://sismicidadinducida.blogspot.com.es/2015/06/sevilla-libre-de-permisos-para.html>

Enlace 8:

<http://www.diariosur.es/20110224/local/malaga/subida-nivel-mediterraneo-duplica-201102241311.html>

## BIBLIOGRAFÍA

- Borrego, J., 1992. Sedimentología del estuario del río Odiel (Huelva, S.O. España). Tesis Doctoral, Universidad de Sevilla, 296 pp.
- Morales, J.A. 1993. Sedimentología del estuario del río Guadiana (S.O. España – Portugal). Tesis Doctoral Universidad de Sevilla, 300 pp.
- Borrego, J., Morales, J.A., (2010). Estudio de impacto ambiental de los puentes situados en el estuario del río Odiel (1º Fase). Informe inédito, 89 pp.
- Dias & Cabral, 2002, <http://repositorio.lneg.pt/handle/10400.9/1096>
- Doblas, 2010, <http://supersites.earthobservations.org/haiti.php>
- Doblas & Oyarzun 1989a, <http://geology.gsapubs.org/content/17/5/430.abstract>
- Doblas & Oyarzun, 1989b, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0012821X89901854>
- Doblas et al., 1991, <http://estudiosgeol.revistas.csic.es/index.php/estudiosgeol/article/viewArticle/419>
- Doblas et al., 2007, <http://specialpapers.gsapubs.org/content/418/303.abstract>
- Doblas et al., 2014, <http://link.springer.com/article/10.1007/s11069-014-1242-0>
- Domínguez-Bella, 2008, <http://revistas.uca.es/index.php/rampas/article/viewFile/1361/1187>
- Duarte et al., 2013, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0025322711002027>
- Gutscher et al., 2002, <http://geology.gsapubs.org/content/30/12/1071.abstract>
- IGME, 2004, <http://www.igme.es/Publicaciones/Muestras/%C3%8Dndice.pdf>
- Llave 2004, [http://info.igme.es/SIDIMAGENES/137000/832/137832\\_0000019.PDF](http://info.igme.es/SIDIMAGENES/137000/832/137832_0000019.PDF)
- Martín-Dávila & Pazos 2003, <https://revistas.ucm.es/index.php/FITE/article/viewFile/FITE0303110213A/11828>
- Matías et al., 2011, <http://aapgbull.geoscienceworld.org/content/95/10/1667.full.pdf+html>
- McGuire, 2012, <https://www.amazon.es/Waking-Giant-changing-earthquakes-volcanoes/dp/0199678758>
- Medialdea, 2004, [http://info.igme.es/SIDIMAGENES/143000/122/143122\\_0000001.PDF](http://info.igme.es/SIDIMAGENES/143000/122/143122_0000001.PDF)
- Oyarzun/Doblas et al., 1997, <http://geology.gsapubs.org/content/25/8/727.abstract>
- Morales, 2016, Un modelo 3D de arquitectura de facies de los sedimentos Holocenos del estuario del Odiel. Documento inédito del Departamento de Ciencias de la Tierra, Área de Estratigrafía, [Grupo de Investigación Geología Costera \(RNM 276\)](#) de la Universidad de Huelva, 53 pp.
- Morales, J.A., Borrego, J., 2008. Carta estratigráfica y geotécnica del subsuelo de la zona portuaria de Huelva. Informe inédito. 53 pp.

- Morales, J.A., Borrego, J., Ballesta, M.,  
2004. <https://www.deepdyve.com/lp/springer-journals/influence-of-harbour-constructions-on-morphosedimentary-changes-in-the-NAD40khatk>
- Morales et al., 1999, <http://geology.gsapubs.org/content/27/8/735.abstract>
- Ruiz et al., 2005, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0031018205003743>
- Silva et al., 2006, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0013795205003121>
- Somoza et al., 2014, [http://tierra.rediris.es/moundforce/Moundforce\\_informe\\_final.pdf](http://tierra.rediris.es/moundforce/Moundforce_informe_final.pdf)
- Vázquez et al., 2010a,  
[http://www.indemares.es/sites/default/files/actividad\\_tectonica\\_en\\_golfo\\_de\\_cadiz\\_vazquez\\_2.pdf](http://www.indemares.es/sites/default/files/actividad_tectonica_en_golfo_de_cadiz_vazquez_2.pdf)
- Vázquez et al., 2010b,  
[http://www.indemares.es/sites/default/files/fracturacion\\_normal\\_en\\_golfo\\_de\\_cadiz\\_vazquez\\_1.pdf](http://www.indemares.es/sites/default/files/fracturacion_normal_en_golfo_de_cadiz_vazquez_1.pdf)
- Williams, 2011,  
<https://www.newscientist.com/article/mg21128321-600-climatequake-will-global-warming-rock-the-planet/>