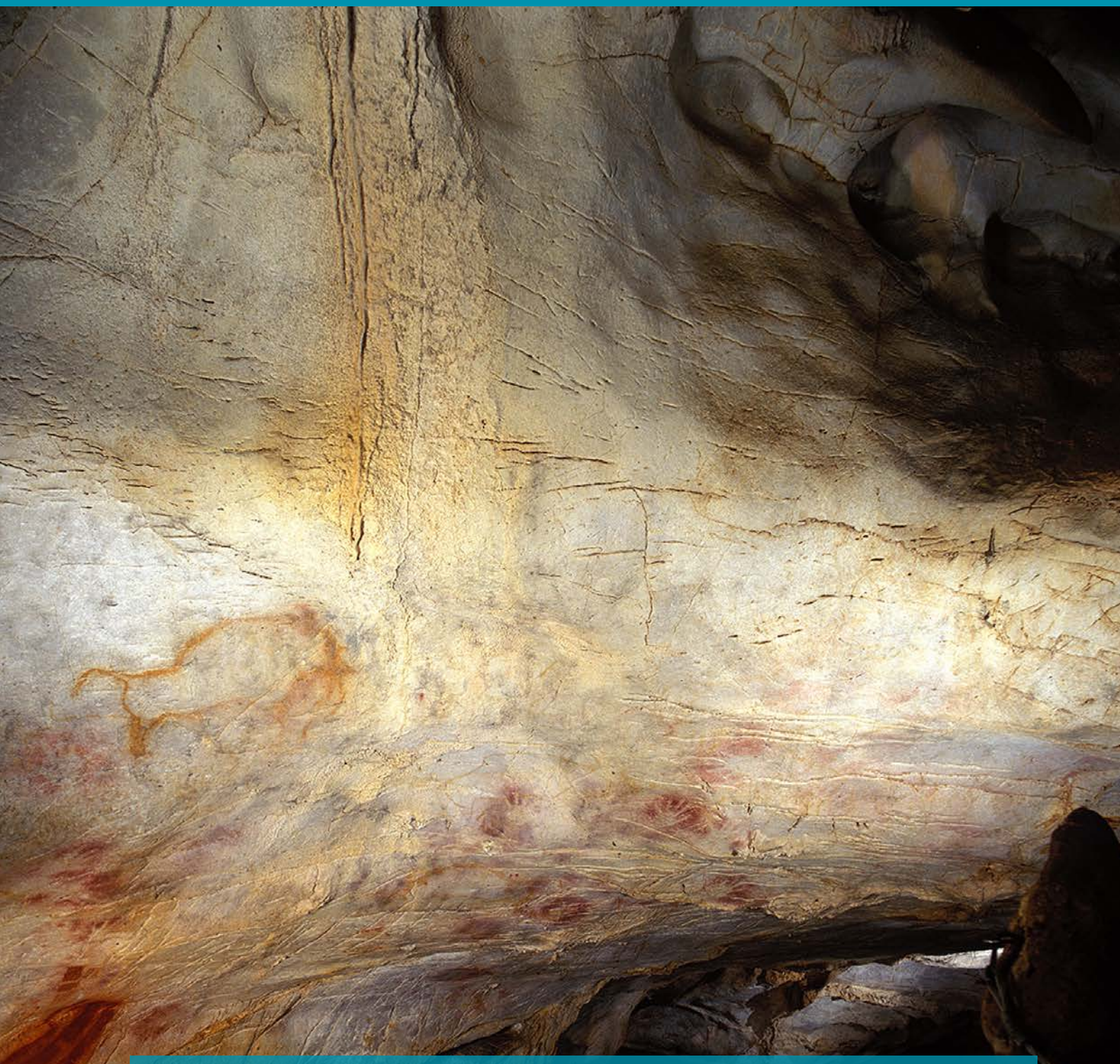
Asamblea Contra la Fractura
Hidráulica de Cantabria



ARTE PALEOLÍTICO RUPESTRE Y FRACKING EN CANTABRIA

Evidencias sobre posibles daños en el Patrimonio de la Humanidad

DATOS Y ARGUMENTOS

01. Arte paleolítico rupestre y Patrimonio de la Humanidad en Cantabria	p.4
02. Permisos de hidrocarburos en Cantabria	p.4
03. Legislación del sector de hidrocarburos en España	p.4
04. Fracking y perforación horizontal	p.5
05. Fracking y agua	p.6
06. Fracking y ocupación del territorio	p.6
07. Fracking, aguas subterráneas y calidad del aire	p.7
08. Fracking y fluido de retorno	p.7
09. Fracking y productos químicos	p.8
10. Unidades hidrogeológicas y Karst en Cantabria	p.9
11. Posibles afecciones del fracking sobre el arte paleolítico rupestre	p.10
11.1 Permiso Los Basucos	p.11
11.2 Permiso Luena	p.11
11.3 Permiso Galileo	p.12
11.4 Permiso Bezana-Bigüenzo	p.12
12. Sismicidad inducida y fracking	p.13
13. Posibles daños de la sismicidad inducida sobre las cuevas de arte rupestre	p.15
14. Sismicidad en cantabria	p.16
14.1 Permiso Los Basucos	p.17
14.2 Permiso Luena	p.18
14.3 Permiso Galileo	p.19
14.4 Permiso Bezana-Bigüenzo	p.20
15. Tráfico de camiones y afecciones sobre las cuevas de arte rupestre	p.21
16. Bibliografía	p.22

ANEXOS

I. Mapa de permisos y cuevas en Cantabria

II. Mapa de permisos, cuevas, hidrología y unidades hidrogeológicas en Cantabria

III. Mapa de permisos, cuevas, fallas y terremotos en Cantabria

IV. Composición Genérica de la lechada de fracturación en el sondeo Luena Profundo 1

Este informe ha sido redactado por la Asamblea contra la Fractura Hidráulica de Cantabria para ser remitido a la UNESCO (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura).

Puedes ponerte en contacto con nosotros mediante el correo electrónico fracturahidraulicano@gmail.com. En nuestra web http://www.fracturahidraulicano.info puedes encontrar más información.

Agradecimientos: Adrián, Andrew, Beatriz, Jose, Josué, Marion, Rubén, Sylvie y muy especialmente a Agustín.
Imagen de portada: www.cantabria.es

A la atención de:

Centro del Patrimonio Mundial de la Unesco

Ante el inminente comienzo en Cantabria de los sondeos para determinar la ubicación de los pozos de extracción de gas de esquito (shale gas) mediante la técnica denominada Fractura Hidráulica, la Asamblea contra la Fractura Hidráulica en Cantabria denuncia los daños irreparables que, para el Patrimonio Arqueológico Cántabro y los enclaves denominados Patrimonio de la Humanidad de la región, va a suponer el desarrollo de esta industria extractiva en Cantabria.

Es nuestro deseo dar a conocer ante las Instituciones encargadas de la gestión y conservación de este patrimonio la problemática asociada a esta técnica, con la finalidad de preservar tal como fueron pintadas demostraciones artísticas con más de 20.000 años de antigüedad, Patrimonio de la Humanidad, y legado de los primeros habitantes de estas tierras.

Mediante este escrito, la Asamblea contra la Fractura Hidráulica de Cantabria desea activar con premura todos los mecanismos de información, presión, protección y conservación que dispone la Unesco para proteger su Patrimonio Mundial, y denunciar especialmente la responsabilidad del Gobierno español, el Ministro de Industria y Energía y las empresas concesionarias de los permisos de explotación en cualquier daño futuro sobre estos enclaves.

Asamblea contra la Fractura Hidráulica de Cantabria
Mayo de 2015
correo-e: fracturahidraulicano@gmail.com

01. ARTE PALEOLÍTICO RUPESTRE Y PATRIMONIO DE LA HUMANIDAD EN CANTABRIA

En Cantabria existen 10 cuevas de Arte Paleolítico Rupestre consideradas Patrimonio de la Humanidad:

- **Cuevas de Altamira** (Santillana del Mar)
- **El Chufín** (Rionansa)
- **Hornos de la Peña** (San Felices de Buelna)
- **El Pendo** (Escobedo)
- **La Garma** (Ribamontán al Mar)
- **Covalanas** (Ramales)
- **Las Monedas, El Castillo, Las Chimeneas y La Pasiega** (Puente Viesgo)

Existen además 6.500 cuevas de las que alrededor de 1.100 guardan en su interior restos arqueológicos y 62 tienen pinturas rupestres.

02. PERMISOS DE HIDROCARBUROS EN CANTABRIA

El Ministerio de Industria y Turismo es el responsable de la concesión de los siguientes permisos en Cantabria:

- **Permiso Luena:**
  - Superficie: 74.628 hectáreas, ocupando territorios de Cantabria y Burgos.
  - Concedido el 22/01/2011 a Repsol Investigaciones Petrolíferas, S.A. por un periodo de 6 años.
- **Permiso Bezana-Bigüenzo:**
  - Superficie: 179.434,50 hectáreas, ocupando territorios de Cantabria, Burgos y Palencia.
  - Concedido el 2/12/2009 a Petroleum Oil & Gas España, S.A. (propiedad al 100% de Gas Natural Fenosa) por un periodo de 6 años. En junio de 2011 se autorizó la cesión de un 40% a Repsol Investigaciones Petrolíferas S.A. En febrero de 2012 Petroleum Oil Gas cedió otro 10% a Pyreenes Energy Spain, S.A.
- **Permiso Gran Enara:**
  - Superficie: 324.837,30 hectáreas, ocupando territorios de Burgos y Álava principalmente, pero también de Cantabria, Vizcaya y Navarra.
  - Concedido el 08/10/2005 a Sociedad de Hidrocarburos de Euskadi S.A.
- **Permiso Galileo:** Se encuentra en fase de solicitud siendo la empresa solicitante Montero Energy SL.
- **Permiso Los Basucos:** Se encuentra en fase de solicitud (2009) siendo la empresa solicitante Petroleum Oil & Gas España, S.A. (propiedad al 100% de Gas Natural Fenosa).

03. LEGISLACIÓN DEL SECTOR DE HIDROCARBUROS EN ESPAÑA

En España, el sector de hidrocarburos está regulado por la Ley 34/1998, modificada recientemente por la Ley 17/2013 con la finalidad de incluir al fracking como técnica extractiva que puede ser utilizada por los titulares de autorizaciones de actividad en el sector de los hidrocarburos y que otorga a esta legislación rango de ley básica.

El Gobierno de Cantabria mediante la **Ley 1/2013** de 15 de abril ha prohibido el uso del fracking en su territorio invocando sus competencias recogidas en el Estatuto de Autonomía en materia de ordenación del territorio y del litoral, urbanismo y vivienda, protección del medioambiente y de los ecosistemas, sanidad e higiene, industria y régimen energético entre otras. En particular, merece destacarse que estas disposiciones autonómicas se aplican a los permisos y cualquier otro título habilitante de la actividad prohibida, «tanto a los ya concedidos o en tramitación, como a las solicitudes que se formulen a partir de su entrada en vigor».

Esta actuación autonómica ha sido recurrida por el Gobierno Español ante el Tribunal Constitucional. La sentencia del Tribunal Constitucional que anula la ley cántabra contra el fracking contó con el voto particular de tres de los siete magistrados, que discrepan del fallo por entender que «no ponderó debidamente» la incidencia de los riesgos de esta técnica en la protección de la salud humana, «un interés de la máxima relevancia». Además, **censuran que**

los demás magistrados no hayan armonizado la «protección del medio ambiente con la explotación de los recursos energéticos», otra de las cuestiones invocadas por la normativa cántabra para oponerse a esta práctica. Y no solo eso. Critican su «falta de la debida objetividad» al referirse al debate técnico y social que suscita esta técnica, pues «ni reflejan el complejo elenco de ventajas e inconvenientes, ni mencionan la fuente de las opiniones que se reseñan».

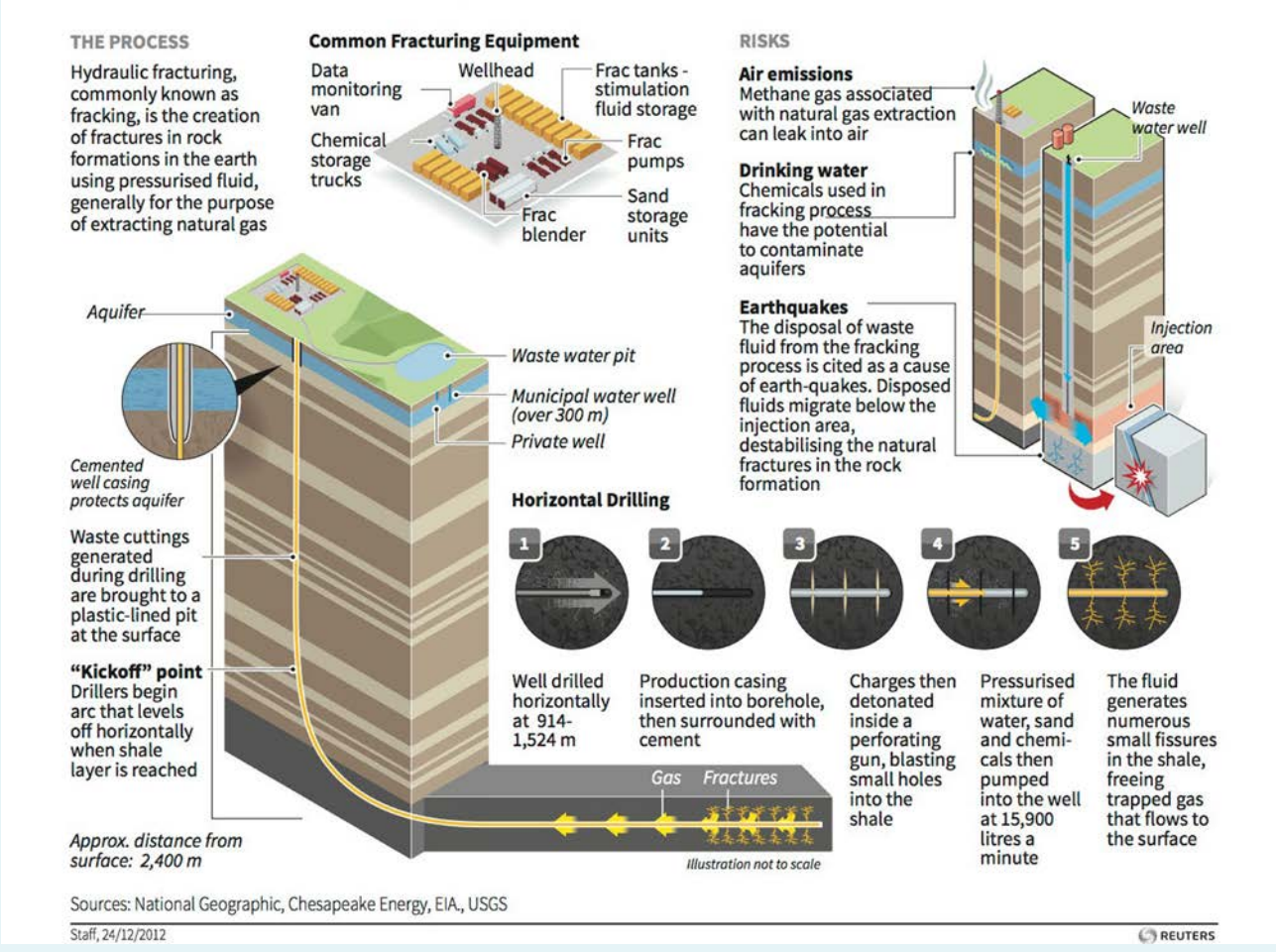
04. FRACKING Y PERFORACIÓN HORIZONTAL

El proceso de fractura comienza con la perforación vertical de uno o varios pozos, atravesando capas de rocas y acuíferos, desde la plataforma en la superficie hacia donde se encuentra el estrato rocoso de interés que puede hallarse a una profundidad de varios kilómetros. Antes de llegar a la capa a explotar comienza la perforación horizontal, dibujando una larga curva que penetra en el estrato de interés, extendiéndose horizontalmente 1-1,5 km. Una vez alcanzado el estrato deseado se utilizan explosivos para crear pequeñas grietas que después servirán de guía.

La fractura hidráulica (fracking) consiste en bombear un fluido (agua mezclada con un agente de apuntalamiento y productos químicos) a una elevada presión para abrir y extender las fracturas. Al reducir la presión, parte del fluido (en función del rendimiento de la instalación entre el 30% y el 70%) retorna a la superficie junto al gas y otras sustancias presentes en la roca como metales pesados y partículas radiactivas en caso de estar estas presentes en la roca. En la superficie esta mezcla es procesada para separar el gas de todas estas sustancias no deseadas. El agua de retorno, altamente contaminada, se almacena a cielo abierto en piscinas construidas al lado de las instalaciones. El resto del fluido inyectado permanece bajo tierra.

CUADRO 1

HYDRAULIC FRACTURING-HOW IT WORKS



05. FRACKING Y AGUA

La fractura hidráulica es una explotación con rendimientos por tonelada mínimos. **Esto implica un enorme consumo de agua.** En el actual contexto de cambio global, el agua se convierte en un recurso cada vez más escaso aunque esencial para la supervivencia de las especies y para el desarrollo de los ecosistemas. La Fractura Hidráulica demanda grandes cantidades de agua, suponiendo una presión considerable en los suministros locales y regionales de agua. Utilizar aguas superficiales puede generar descensos acusados del caudal de los ríos, alterando la dinámica fluvial y los ecosistemas acuáticos. Para los pozos del Proyecto Gran Enara (Euskadi), durante la fase de perforación se consumirá una media de 3.500 metros cúbicos de agua y durante la fase de fractura 35.000 metros cúbicos (Fuente: SHESA). Estos datos son para un pozo. Si como se plantea fueran necesarios 2.000 pozos para extraer los 180.000 millones de metros cúbicos planeados el consumo sería de 70.000.000 de metros cúbicos. De estas cantidades, aproximadamente el 2% del volumen inyectado corresponde a los productos químicos necesarios para perforar y fracturar y en el mejor de los casos se recupera el 70% del fluido inyectado, en función de la profundidad y el tipo de formación geológica.

06. FRACKING Y OCUPACIÓN DEL TERRITORIO

La fractura hidráulica es una explotación con rendimientos por tonelada mínimos. **Esto implica una enorme ocupación de territorio.** La práctica habitual usada para rentabilizar la explotación es la agrupación de varios pozos en una sola plataforma, separados entre 5 y 8 metros y distribuidos de tal manera que permiten cubrir un área determinada del estrato de interés sin dejar huecos. Cada plataforma requiere una superficie de entre 1,5 y 2 hectáreas que permita almacenar todo el fluido de la fractura, los lodos de perforación, el equipo asociado a las operaciones de fractura hidráulica, el correspondiente a la perforación horizontal y las balsas de retención de los fluidos de retorno.

CUADRO 2

OCUPACIÓN DEL TERRITORIO EN JONAH FIELDS, WYOMING

Oil and natural gas development, Jonah Fields, Wyoming: photo by bsgordonaspen/EcoFlight, 14 May 2006

Además hay que añadir todos los caminos de acceso y otras infraestructuras (gaseoductos, ocupación subterránea por las ramificaciones, zonas para el procesado de gas, etc.)
La producción de un pozo tiene una vida media de 7 años (yacimiento Barnett Shale, EEUU) siendo el primero el más productivo. A partir del segundo año la producción desciende entre un 60-80% debido a que la fractura no consigue permeabilizar más que una pequeña parte del subsuelo del que rápidamente se libera el gas. Las empresas explotadoras y comercializadoras de gas natural deben mantener la oferta para que la explotación sea rentable lo que les obliga a perforar nuevos pozos a medida que se agotan los primeros. Así se va extendiendo una red de pozos unidos por carreteras y caminos.

07. FRACKING, AGUAS SUBTERRÁNEAS Y CALIDAD DEL AIRE

Los impactos sobre la salud y el medio ambiente asociados a la extracción de gas de esquisto mediante la técnica conocida como «fracking« son conocidos, están demostrados y se encuentran ampliamente documentados en diversos estudios canadienses, norteamericanos y europeos.

El Instituto Geológico y Minero de España (IGME) señala en su informe de enero de 2014 elaborado para el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente en su apartado de conclusiones:

RESPECTO A LAS AGUAS SUBTERRANEAS

Cabe indicar que cada fase del proceso de fractura puede crear distintas afecciones al medio hidrogeológico. En este sentido, deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos:

1. Las afecciones a las aguas subterráneas pueden ser muy variadas, desde contaminantes químicos a afecciones por procesos puramente físicos.
2. Las afecciones a los acuíferos se producen fundamentalmente por los fluidos de perforación, de fractura, de retorno y por gases del propio yacimiento.
3. Asimismo, es posible que se produzcan afecciones por líquidos contenidos en acuíferos, tanto naturales (salmueras) como inyectados artificialmente en acuíferos profundos.
4. Desde el emplazamiento de este tipo de pozos, se pueden producir afecciones a los acuíferos del sustrato, a los cursos superficiales de agua e incluso a acuíferos más alejados.

RESPECTO A LA CALIDAD DEL AIRE

Durante la fase de fractura hidráulica y de extracción, momento en el que se presume una determinada densidad de plataformas por superficie, se recomienda una red de control de estaciones de inmisión de gases que midan la calidad del aire en la situación preoperacional y durante la fase de fractura y de extracción de gas, mediante los siguientes componentes: NO2, NOX, SO2, partículas PM10 y PM2,5, ozono, BTEX y componentes orgánicos volátiles (NO BTEX).

08. FRACKING Y FLUIDO DE RETORNO

Los **fluidos de la fractura hidraúlica** se inyectan a miles de metros de profundidad, y solo una parte es recuperada, el 70% en el mejor de los casos. La industria presupone que esos fluidos contaminados se quedan en el mismo sitio, abajo, a muchos metros de la superficie. Bajo esa premisa, una de las formas utilizadas para eliminar los fluidos de retorno consiste en inyectarlos en pozos abandonados.

Sin embargo cualquier hidrólogo sabe que los flujos de agua freática no se limitan a zonas poco profundas y en los últimos 70 años han sido cuantificados con la ayuda de las leyes físicas y probados en todas partes del mundo (primeras referencias: Hubbert, 1940; Tóth 1963). Aunque la inyección principal de contaminantes se hace a miles de metros de profundidad inevitablemente el flujo de agua freática los trasladará lateralmente y luego hacia arriba por procesos de infiltración y capilaridad a una velocidad que depende de varios factores. Ver cuadro 3.

En la pizarra, las fracturas son estrechas y cercanas las unas a las otras, además estas fracturas tienden a bloquearse de roca desintegrada por lo que resisten el flujo de fluido. Por lo tanto el problema no es tanto la filtración de contaminantes por la pizarra, sino las fugas por las fracturas verticales hasta formaciones adyacentes de alta permeabilidad, donde el flujo se concentra y avanza relativamente rápido.

CUADRO 3

ALGUNAS CONSIDERACIONES SOBRE LA FRACTURA HIDRÁULICA EN LA EXTRACCIÓN DE GAS DE ESQUISTO

Arthur N. Palmer; 2011. Profesor Emérito de la Universidad Estatal de Nueva York en Oneonta.

Consideremos un sistema de fracturas con un ancho medio de 1 mm y un gradiente hidráulico de 0,1. La velocidad de flujo por una fisura se calcula por cuadrar la anchura (cm), multiplicar por el peso específico del agua (980 dinas/cm) y gradiente hidráulico (sin unidades), y dividir por 12 y por la viscosidad (cerca de 0,013 dinas-segunda/cm a 50 grados F). La velocidad por esta fisura será unos 6,28 cm/segundo, ¡equivalente al flujo de un kilómetro en menos de 5 horas! Este gradiente y esta anchura de fisura son mayores que la media. A un gradiente de 0,01 (10m/km) el flujo sería la décima parte y requeriría 50 h. La mayor parte de las fisuras son más estrechas, algo como 0,1 mm (0,01cm): en combinación con el gradiente más pequeño daría una razón de flujo de 5000 horas por kilómetro, o unos 200días.

En **zonas kársticas** (roca soluble) las cuevas y los conductos se forman donde el flujo de agua freático es ya muy rápido. Normalmente son poco profundas, pero existen zonas donde estas cuevas y áreas de disolución han sido enterradas más tarde por rocas más jóvenes, formando **paleokarst**. En estas áreas la velocidad del flujo de agua (velocidad de dispersión de los contaminantes) aumenta cientos de veces, lo que hace impredecible su comportamiento e imposible su control.

Sin embargo, una parte de los contaminantes de los fluidos no retornados (recordemos que son más del 30% de los fluidos inyectados y el 100% en el caso de los fluidos retornados inyectados en pozos abandonados) alcanzarán la superficie antes de lo previsto por la dinámica del flujo del agua freática, debido a dos procesos:

1. La inyección del fluido para realizar la fractura hidráulica se realiza a muy altas presiones (entre 600 y 700 atmósferas). El fluido inyectado sufre esa presión y escapa hacia la superficie tanto por las nuevas grietas creadas que pongan en contacto la capa de pizarra con las capas adyacentes como por las grietas ya existentes que comunican la capa de pizarra con capas de alta permeabilidad.
2. Muchos contaminantes son flotantes, líquidos menos densos que el agua. En los conductos kársticos tienden a acumularse donde el agua de la cueva se colecta en un sumidero (donde el techo está debajo del nivel del agua). Con el tiempo estos contaminantes se acumulan, escapando los volátiles a través de las fracturas. Los elementos no volátiles acumulados son empujados y fluyen hacia arriba en épocas de lluvias o durante las inundaciones a través de esas mismas fracturas.

09. FRACKING Y PRODUCTOS QUÍMICOS

La empresa concesionaria del Permiso Luena (Repsol) ha hecho público el listado de productos químicos que van a utilizar en la perforación de pozos. Se adjunta a estos Datos y Argumentos como anexo IV Entre otras, las funciones de estos productos químicos son las siguientes:

- Facilitar la perforación y la formación de fisuras debilitando la estructura de la roca (ácidos)
- Disolución de carbonatos, reducción del ph (ácido clorhídrico)
- Ajuste del ph para el líquido de fractura (hidróxido sódico)
- Prevenir la formación de incrustaciones en los conductos (etilenglicol)
- Reducir la fricción disminuyendo las turbulencias en el flujo del fluido, lo que permite a las bombas inyectar fluido a más velocidad sin tener que aumentar la presión en la superficie (poliacriamidas)
- Mantener la viscosidad del fluido a alta temperatura (sales de borato)
- Eliminación de bacterias (glutaraldehido)
- Prevención de la corrosión (acido cítrico)
- Control de la expansión de arcillas (cloruro de potasio)

10. UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS Y KARST EN CANTABRIA

La Comunidad Autónoma de Cantabria se subdivide en tres unidades hidrogeológicas. Son un conjunto de formaciones geológicas de características hidrogeológicas similares cuyo funcionamiento (entradas, salidas, balances) se debe considerar conjuntamente.

Además, las peculiaridades de Cantabria, con una accidentada geografía que compartimenta sobremanera el territorio y un clima húmedo con abundantes y persistentes precipitaciones, ha dado lugar a una complicada hidrografía con abundante número de ríos y manantiales por toda la región.

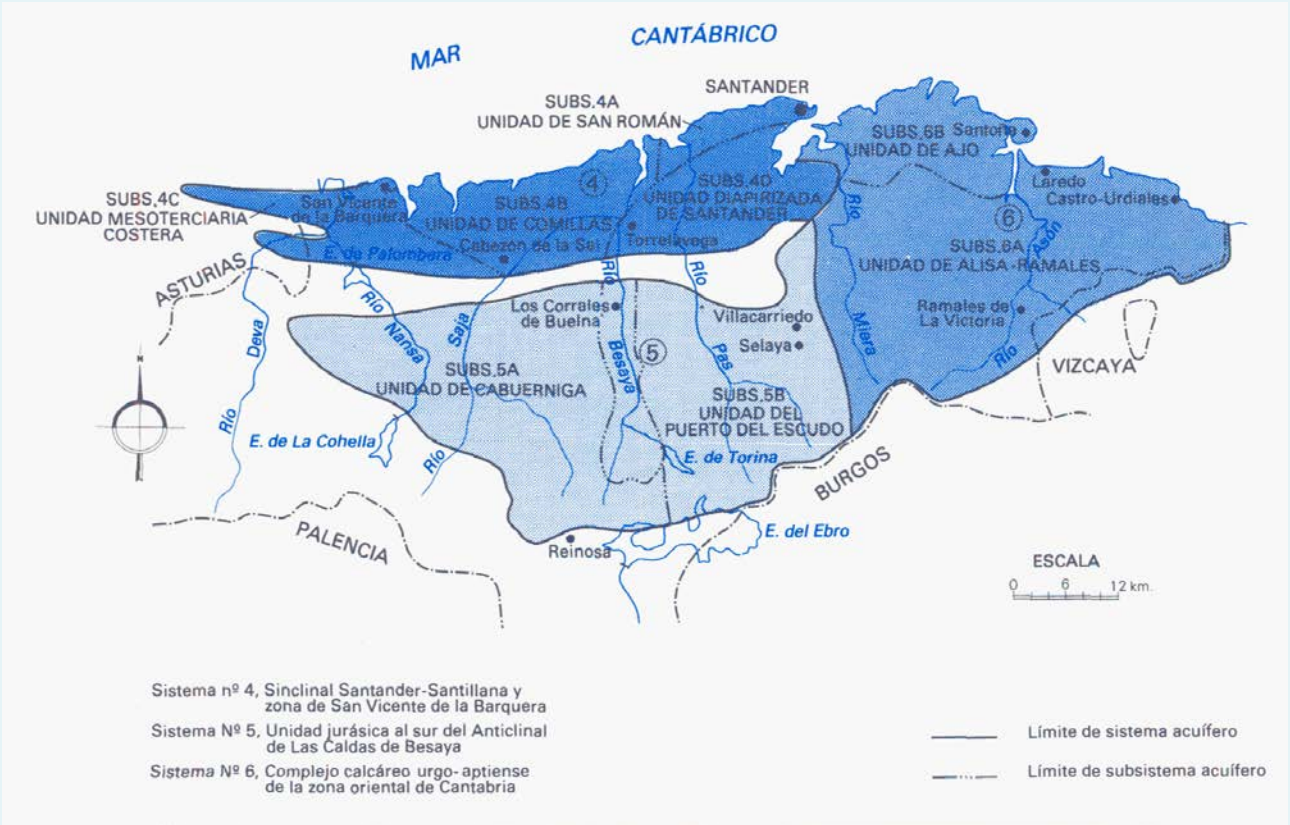
Además, Cantabria ofrece, a escala mundial, algunos de los mejores ejemplos de karst superficial y subterráneo, atrayendo científicos y espeleólogos de todas partes del planeta. **La Cueva de Altamira** se sitúa en la parte superior de un karst de origen Plioceno. **La Cueva del Pendo** se encuentra en la sierra de Peñajorao, una de las zonas kársticas costeras más importantes de Cantabria. Las Cuevas del Monte Castillo: **El Castillo, Las Monedas, La Chimenea y La Pasiega** al borde del río Pas, se encuentran sobre una elevación caliza que esconde en su interior un intrincado laberinto de cuevas. **Las Cuevas Covalanas,** en el término municipal de Ramales de la Victoria, están ubicadas en una zona de calizas en uno de los márgenes del valle formado por el río Asón. **El Chufín**, en el término municipal de Rionansa se desarrolla sobre un acantilado de materiales calizos. La cueva de **La Garma** es una de las cavidades del complejo kárstico que ocupa el monte de La Garma, en el término municipal de Ribamontán al Mar. **Hornos de la Peña**, en Tarriba (San Felices de Buelna) se sitúa sobre una de las abruptas laderas del monte Tejas abierta en calizas carboníferas.

Estos factores hacen que la dispersión de la contaminación en las aguas subterráneas y de las aguas superficiales debida a los fluidos de fractura, los fluidos de perforación, los fluidos de retorno, los fluidos de retorno inyectados en pozos abandonados y los gases propios del yacimiento sea, como ya hemos aclarado, **impre-**

CUADRO 4

SISTEMAS ACUÍFEROS DE CANTABRIA

Las aguas subterráneas en Espana. Navarro Alvargonzález, Agustín; Fernández Uría, Antonio; Doblas Domínguez, Juan Gonzalo. 1993



decible. Los contaminantes se trasladarían a miles de metros de profundidad a una velocidad determinada por la dimensión de las fisuras existentes y las de nueva creación, alcanzando capas superiores de mayor permeabilidad y contaminando acuíferos y aguas superficiales, en un proceso incontrolado e incontrolable.

11. POSIBLES AFECCIONES DEL FRACKING SOBRE EL ARTE PALEOLÍTICO RUPESTRE

Las 10 Cuevas con Arte Paleolítico Rupestre cántabras consideradas Patrimonio de la Humanidad por la Unesco más las 62 que albergan pinturas rupestres en su interior más las 1.100 que contienen restos arqueológicos son especialmente vulnerables a la acción de estos contaminantes.

Desde el punto de vista de la conservación, una pintura rupestre debe interpretarse como un **sistema pigmento/soporte**. Los pigmentos utilizados son sustancias extraordinariamente estables y por lo tanto muy difíciles de alterar a través de los procesos naturales que suceden en las cuevas, **quedando por determinar las alteraciones que ácidos procedentes de los fluidos utilizados en la fractura hidráulica pueden producir sobre estos compuestos químicos.** No sucede lo mismo con el soporte, que es una roca con unas características determinadas, sometida a la acción de los agentes degradadores, que la van erosionando poco a poco.

Toda la literatura examinada para la redacción de este texto establece como un factor de conservación esencial (además del estudio de la composición y propiedades de las propias pinturas y de su soporte) conocer el régimen hídrico de la cueva a conservar, es decir, conocer la composición y propiedades de las aguas circulantes, aguas de infiltración y aguas subterránea.

Las aguas de infiltración proceden del exterior de la cueva, lluvia principalmente. El agua subterránea impregna la roca por ascenso capilar. Una vez en la roca, independientemente de su origen, este agua permitirá la disolución y transporte de las sales contenidas en la roca. Cuando la solución alcanza la roca soporte de la pintura y el agua se evapora, el sólido resultante es de mayor volumen que la solución, con lo que se producen tensiones mecánicas en la roca que acaban por romperla. El agua facilita la movilización de las sales solubles sobre la roca soporte generándose en primera instancia una película blanquecina que altera las características cromáticas de las representaciones. Por otra parte, la humedad, considerada como un agente principal en la destrucción del arte rupestre (Bednarik 1995, 2003), al ser absorbida por la roca introduce la sal depositada sobre las superficies (sub-eflorescencias). Ciclos de condensación intersticial y evaporación generan la cristalización de las sales, provocando la ampliación de fisuras, un abombamiento de las superficies, la exfoliación de los soportes y, finalmente, la pérdida de la configuración de las representaciones.

La utilización de productos químicos para la fractura hidraúlica en enormes cantidades, entre ellos ácido clorhídrico para favorecer la disolución de carbonatos o ácidos diversos para debilitar la estructura de la roca y favorecer la perforación, contaminaría las aguas superficiales y subterráneas circulantes en todas las cuevas con arte rupestre en Cantabria. Estos contaminantes pasarían a formar parte del regimén hidríco de la cueva, bien por infiltración desde las aguas superficiales bien por ascenso capilar desde las aguas subterráneas, atacando las rocas soporte de las pinturas y aumentando de forma exponencial los procesos naturales de disolución y deposición de sales carbonatadas, produciendo un daño irreparable a las pinturas.

Para facilitar la visión de este problema latente en el futuro cántabro, hemos añadido al Mapa de Cuevas y Permisos, la red hidrológica cántabra y las Unidades Hidrogeológicas Cántabras (Sistemas de Acuíferos) y lo hemos desglosado por permisos. El resultado es desolador, delata que en ningún caso se ha tenido en cuenta la preservación de los enclaves declarados Patrimonio de la Humanidad por la Unesco a la hora de solicitar permisos (Caso de las Cuevas de Altamira, Cueva del Pendo o Cuevas Covalanas) y lo que es peor, que tampoco se ha tenido en cuenta la preservación de estos enclaves a la hora de concederlos por parte del estado (Cueva del Castillo, Las Monedas, La Pasiega o Las Chimeneas).

11.1 PERMISO LOS BASUCOS (EN FASE SOLICITUD)

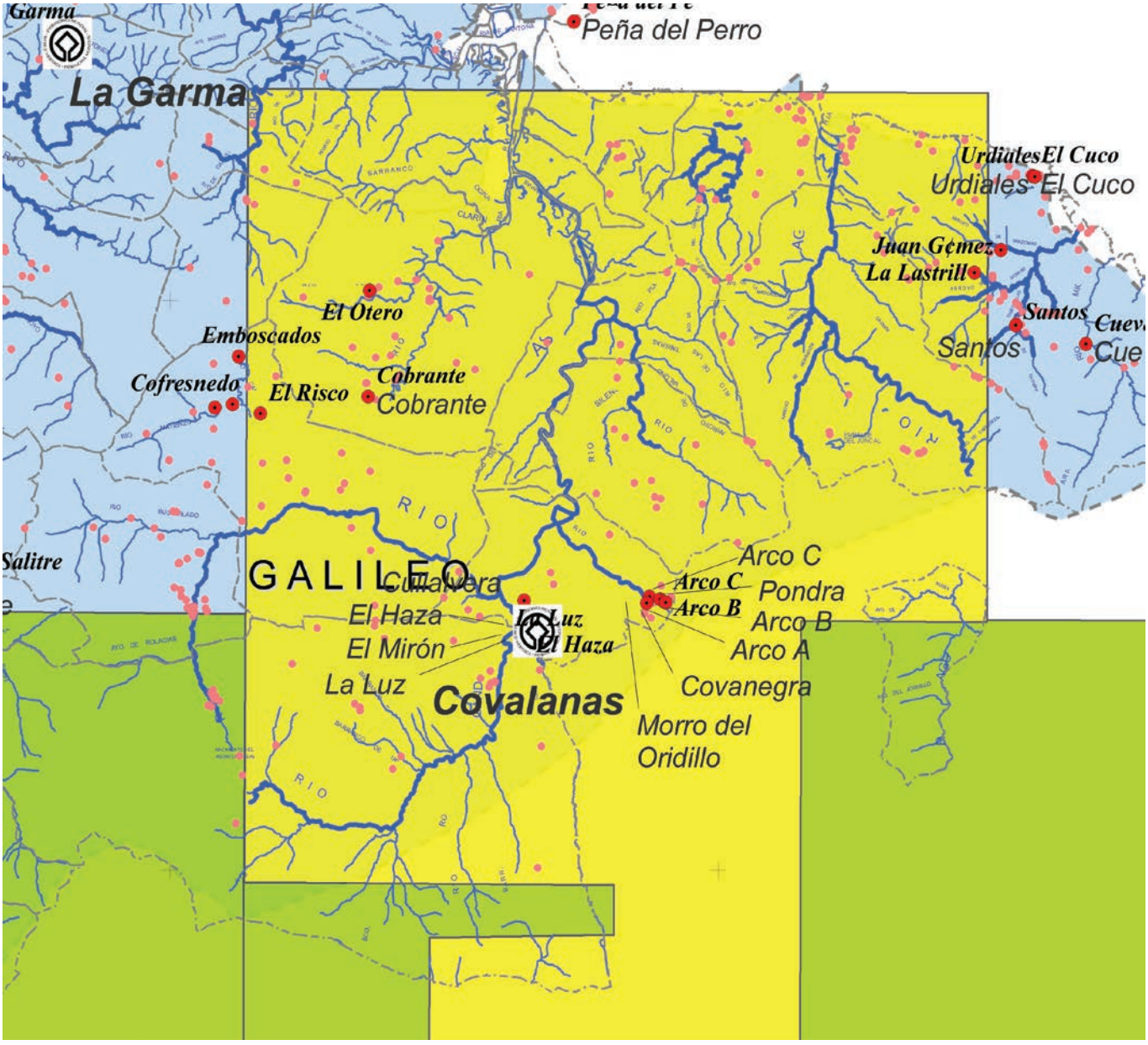
Afección directa a las **Cuevas de Altamira y El Pendo**, declaradas Patrimonio de la Humanidad en 1985 y 2008 respectivamente. Además, en el área del Permiso solicitado existen otras 7 Cuevas con Arte Rupestre de altísimo valor patrimonial: **Santin, Calero, Cudón, Cualventi, La Clotilde y La Estación.** En el entorno próximo del permiso encontramos otras tres Cuevas: **Las Aguas, El Linar y Las Brujas.**

11.2 PERMISO LUENA (CONCEDIDO)

Este permiso, ya concedido, es uno de los más avanzados. Supone una afección directa para el Conjunto de las Cuevas de Montecastillo: **El Castillo, Las Monedas, La Pasiega y Las Chimeneas**, declaradas Patrimonio de la Humanidad por la Unesco en 2008. Lo mismo ocurre con **Hornos de la Peña**, declarada Patrimonio de la Humanidad por la Unesco en 2008. En el entorno del permiso encontramos otras cuevas con pinturas rupestres como **El Salitre o Sovilla**.

11.3 PERMISO GALILEO (EN FASE SOLICITUD)

Afección directa a **Las Cuevas Covalanas y la Cueva de La Garma,** declaradas Patrimonio de la Humanidad en 2008. Además en el área del Permiso existen infinidad de Cuevas con demostraciones Rupestres: **El Otero, El Risco, La Luz, El Haza, El Mirón, Arco C, Pondra, Arco B, Arco A, Covanegra, Morro del Oridillo.**



11.4 PERMISO BEZANA-BIGÜENZO

Las afecciones de las perforaciones mediante fractura hidraúlica en estos territorios sobre las Cuevas Patrimonio de la Humanidad Cántabras serían también innegables, debido a la especifidad del relieve, clima, geología e hidrología de Cantabria. La dispersión de la contaminación por fluidos procedentes de las operaciones de fractura a través de ríos y aguas subterráneas alcanzaría el entorno de las Cuevas más alejadas, produciendo un fenómeno acumulativo a los daños causados por pozos más cercanos.

12. SISMICIDAD INDUCIDA Y FRACKING

Diversos estudios han demostrado **la relación entre sismicidad inducida y fractura hidráulica, y cada día la documentación al respecto es más amplia y está más contrastada.** El informe realizado por el **Instituto Geológico Minero de España** en Enero de 2014 señala:

«Existen **dos tipos de sismicidad asociada a fractura hidráulica: eventos microsísmicos** (habituales y debidos a la propagación de las fracturas) **y eventos sísmicos mayores** (poco frecuentes, pero que pueden ser inducidos en presencia de fallas que acumulan tensiones). En este último caso, la inyección de fluidos puede inducir sismos si aumenta la presión de poros más allá de un umbral crítico, reduciendo la resistencia efectiva de una falla cercana a la rotura.»

«**Los fluidos residuales generados durante la extracción de gas no convencional pueden eliminarse mediante su inyección en pozos.** La presión en estos pozos puede acumularse a lo largo del tiempo, induciendo una sismicidad cuya magnitud tiende a ser mayor que la generada por fractura hidráulica (Zoback, 2012). Esto es debido a que mayores volúmenes de fluido acumulados durante periodos de tiempo más largos, pueden permitir una mayor acumulación de presiones.»

CUADRO 5

INDUCED SEISMICITY ASSOCIATED WITH FLUID INJECTION INTO A DEEP WELL IN YOUNGSTOWN, OHIO

Won-Young Kim. JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH: SOLID EARTH, 20. Vol 118 Issue 7, 19/07/2013

Over 109 small earthquakes (Mw 0.4-3.9) were detected during January 2011 to February 2012 in the Youngstown, Ohio area, where there were no known earthquakes in the past. These shocks were close to a deep fluid injection well. The 14 month seismicity included six felt earthquakes and culminated with a Mw 3.9 shock on 31 December 2011. Among the 109 shocks, 12 events greater than Mw 1.8 were detected by regional network and accurately relocated, whereas 97 small earthquakes (0.4<Mw<1.8) were detected by the waveform correlation detector. Accurately located earthquakes were along a subsurface fault trending ENE- WSW—consistent with the focal mechanism of the main shock and occurred at depths 3.5-4.0 km in the Precambrian basement. We conclude that the recent earthquakes in Youngstown, Ohio were induced by the fluid injection at a deep injection well due to increased pore pressure along the preexisting subsurface faults located close to the wellbore. We found that the seismicity initiated at the eastern end of the subsurface fault—close to the injection point, and migrated toward the west—away from the wellbore, indicating that the expanding high fluid pressure front increased the pore pressure along its path and progressively triggered the earthquakes. We observe that several periods of quiescence of seismicity follow the minima in injection volumes and pressure, which may indicate that the earthquakes were directly caused by the pressure buildup and stopped when pressure dropped .

CUADRO 6

CHARACTERIZATION OF AN EARTHQUAKE SEQUENCE TRIGGERED BY HYDRAULIC FRACTURING IN HARRISON COUNTY, OHIO

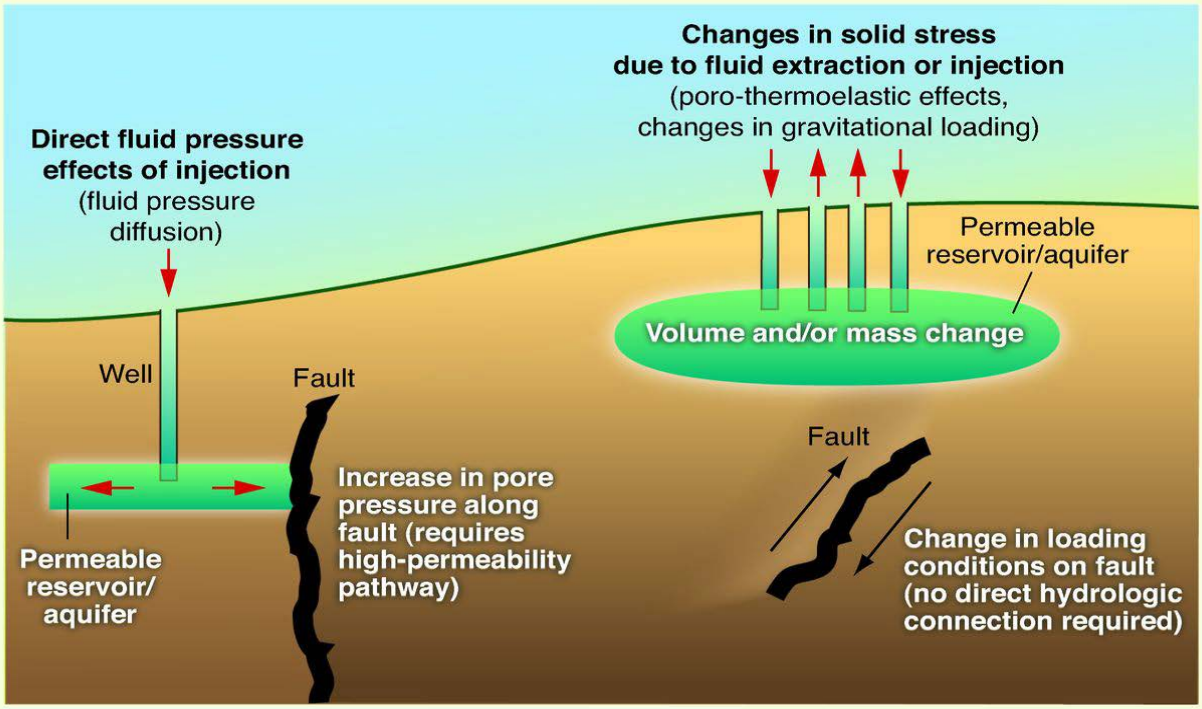
Paul A. Friberga, Glenda M. Besana-Ostman, Ilya Drickera. Seismological Research Letters,15/10/2014

To extract oil and gas in tight shale formations, hydraulic fracturing is used to stimulate fracture growth and increase permeability. Typically, low (−3.0 to 0.0Mw) magnitude earthquakes are produced during hydraulic fracturing (Maxwell et al., 2002, 2009). In a few cases, however, hydraulic fracturing has been linked to widely observed larger, so called positive magnitude, earthquakes. Examples include earthquakes felt by the general population in such areas as Blackpool, England, ML 2.3 (de Pater and Baisch, 2011), Horn River Basin, Canada, ML 3.8 (British Colombia Oil and Gas Commission [BCOGC], 2012), and Oklahoma ML 2.9 (Holland, 2011, 2013) and more recently in Ohio (Skoumalet al., 2014). In this paper, we show the first evidence of positive magnitude earthquakes on a previously unmapped fault in Harrison County, Ohio, that can be related to a hydraulic fracture operation.

CUADRO 7

SCHEMATIC DIAGRAM OF MECHANISMS FOR INDUCING EARTHQUAKES

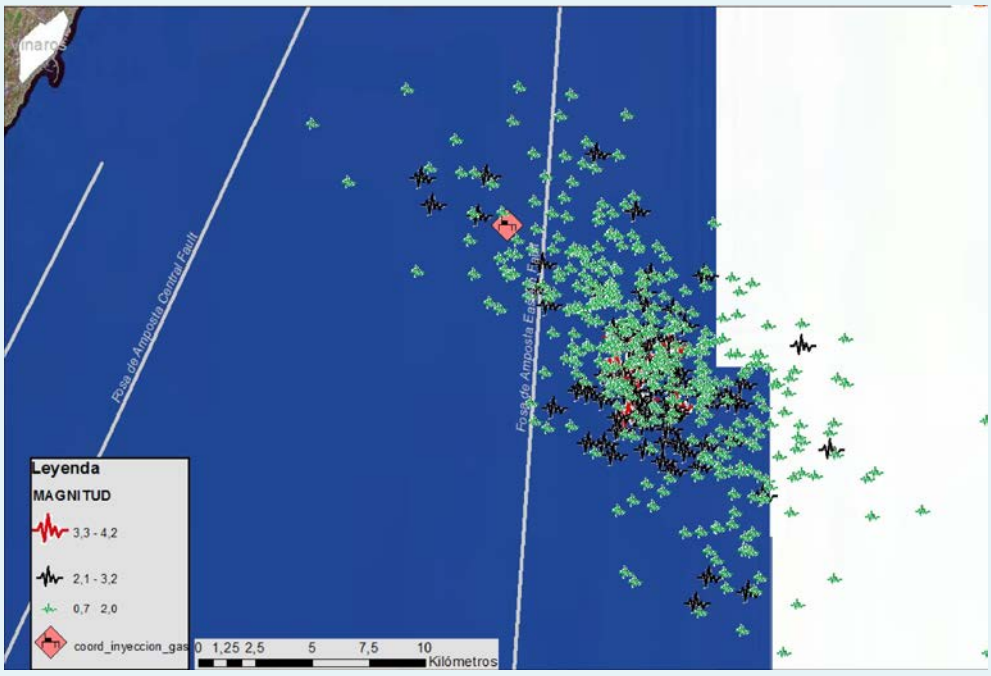
Earthquakes may be induced by increasing the pore pressure acting on a fault (left) or by changing the shear and normal stress acting on the fault (right).
SCIENCE, VOL 341, 12 JULY 2013



CUADRO 8

LOCALIZACIÓN Y MAGNITUD DE LOS EPICENTROS EN EL Ggolfo DE VALENCIA

Dirección General
de Protección Civil y
Emergencias, Ministerio del
Interior. 7 de Octubre de 2013



En España, tenemos un ejemplo reciente de sismicidad asociada a la actividad humana, se trata de los episodios ocurridos en el Golfo de Valencia entre Septiembre y Octubre de 2013 debidos al Proyecto Castor. Aquí incluimos literalmente parte de las conclusiones del Informe de la Dirección General de Protección Civil y Emergencias, dependiente del Ministerio del Interior, ver cuadros 8 y 9.

CUADRO 9

SISMICIDAD EN EL GOLFO DE VALENCIA

Dirección General de Protección Civil y Emergencias, Septiembre / Octubre 2013

Tras consultar numerosas fuentes, parece claro que los sismos se están produciendo en la zona donde se inyectó gas en un depósito submarino mediante el proyecto denominado CASTOR. Este proyecto lo está ejecutando la empresa Escal UGS (http://www.escalugs.com/). El control sísmico de este proyecto corre a cargo de técnicos del Observatorio del Ebro, de toda la información recabada podemos deducir:

- Está claro que la sismicidad producida durante estos días es una sismicidad inducida por la inyección del gas.
- La inyección se está realizando por etapas y la última etapa de inyección terminó el 17 de septiembre, a partir de entonces la sismicidad fue disminuyendo paulatinamente, hasta que se reactivó el día 24 y siguientes con una sismicidad no esperada.
- Con fecha 26 de septiembre, el Ministerio de Industria, Energía y Turismo ordenó el cese temporal de la actividad en el almacenamiento subterráneo de gas natural Castor, mientras se recaba información sobre la actividad sísmica detectada en la zona.
- La Dirección General de Política Energética y Minas del Ministerio de Industria ha mantenido diferentes reuniones y realiza un seguimiento continuo de la situación. El día 1 a las 12:00h se mantuvo una reunión con técnicos de la Red Sísmica Nacional del IGN y del departamento de Sismología del Instituto Geológico y Minero. Durante el día 3 se celebró una nueva reunión de seguimiento del proceso, con los técnicos de las dos instituciones, a esta reunión asistió también el Director General de Protección Civil y Emergencias. En la actualidad, este grupo de trabajo, se encuentran realizando las comprobaciones de los datos registrados para poder emitir el informe sobre la situación y su posible evolución.

13. POSIBLES DAÑOS DE LA SISMICIDAD INDUCIDA SOBRE LAS CUEVAS DE ARTE RUPESTRE

Como ya hemos comentado a lo largo de estos Datos y Argumentos, una de las características que definen a las pinturas rupestres es su inseparabilidad del soporte que las contiene. Esta propiedad tiene gran influencia en la conservación de estas manifestaciones, y esta conservación viene condicionada por las características del sistema natural en el que se encuentran, tanto desde el punto de vista abiótico (litología, grado de exposición a los agentes atmosféricos, aguas circulantes, concentración de distintos gases en la atmósfera, etc.) como desde el punto de vista biótico (localización, composición y actividades de las distintas comunidades biológicas que constituyen el sistema). Además existen factores, no incluibles en la descripción de las interacciones del sistema, que producen impactos irregulares que generan una respuesta amortiguada en el tiempo. En esta categoría estarían incluidos los **terremotos**, procesos discontinuos en el tiempo que pueden causar daños de diversos grados, dependiendo del volumen y forma de las Cavidades, del espesor del recubrimiento (profundidad de los huecos) y de la resistencia y comportamiento mecánico de los materiales. Como decíamos, los daños podrían ser de diversa consideración:

1. COLAPSO DE LA CUEVA

El hundimiento brusco de las Cuevas, se produce por un fenómeno denominado licuefacción sísmica, en el que el suelo, debido a un terremoto, se satura de agua procedente de acuíferos inferiores lo que produce un aumento en sus presiones de agua de poros y por lo tanto una disminución de la resistencia a la cizalladura. Este fenómeno, asociado normalmente a arenas y arcillas de alta permeabilidad se asocia también a materiales calizos como los que forman las Cuevas de Arte Rupestre Cántabras, en las que procesos posteriores a su formación (karstificación y fractura) aumentan su porosidad.

2. VARIACIÓN DEL RÉGIMEN HÍDRICO DE LA CUEVA

Otro efecto notable de los terremotos es la alteración del régimen de las aguas circundantes de las Cuevas, provocando subidas y descensos de nivel de los pozos, aumento o disminución de los caudales de ríos y manantiales, formación de lagunas, enturbiamientos y cambios de temperaturas. Esto supondría una alteración irreversible del microambiente de las Cuevas, que junto con el aporte de materia orgánica desde al exterior generarán alteraciones irreversibles a medio plazo.

3. APARICIÓN DE NUEVAS GRIETAS QUE COMUNICAN LA CUEVA CON EL EXTERIOR

Igual que en el punto 2, esto supondría una alteración irreversible del microambiente de la Cueva. Variarán las condiciones de humedad y temperatura, las corrientes de aire y se producirían nuevas aportaciones de materia orgánica desde el exterior con el resultado de alteraciones irreversibles.

4. DESPRENDIMIENTOS DE LA ROCA SOPORTE DE LA PINTURA

5. APARICIÓN DE NUEVAS GRIETAS Y FISURAS SOBRE LAS PINTURAS

14. SISMICIDAD EN CANTABRIA

Se puede decir que Cantabria no es un territorio sísmicamente activo, pero si **sísmicamente sensible**. Así se puede entender de algunos estudios, como los realizados por Alberto Gonzalez, profesor de geodinámica de la Universidad de Cantabria, que en el año 2009 realizó un estudio titulado «**Fallas, terremotos y radón**», cuyos resultados, publicados como artículo en la revista **Geomorphology** bajo el título «**Identification of latent faults using a**

CUADRO 10

ZONAS SISMOGENÉTICAS ASOCIADAS A LOS PIRINEOS Y POTENCIAL MAGNITUD MW QUE PODRÍAN GENERAR

Cantabria se engloba en un marco tectónico (11) capaz de generar sismos de hasta 6,5 Mw. Antonio Aretxabala, Febrero de 2012

NÚMERO	NOMBRE DE LA FUENTE	MAGNITUD MÁX. (Mw)
1	Norpirenaica (oeste)	6,5
2	Norpirenaica (central)	6,8
4	Pirenaica axial (M. Vasco)	6,1
5	Pirenaica axial (oeste)	6,8
7	Surpirenaica (Pamplona)	6,5
8	Surpirenaica (Lumbier)	6,5
9	Surpirenaica (Jaca)	6,5
10	Surpirenaica (Graus)	6,3
11	Vasco-Cantábrica	6,5
12	Arco Vasco	5,6
13	Cadena Ibérica (Cameros)	6,3
14	Cadena Ibérica (Aragón)	6,6

Mapa Tectónico de España 1:2.000.000. In: JA Vera (editor). Geología de España, IGME-SGE, Madrid 2004. Rodríguez-Fernández LR

radon test» son concluyentes. El estudio ha permitido dibujar el mapa de fallas del suelo de Cantabria e identificar aquellas fracturas que, «juegan desde el punto de vista sísmico, y están latentes o con capacidad para reactivarse. Una de ellas, la principal, se extiende de Oeste a Este y corresponde a la Sierra del Escudo, desde el área asturiana hasta Arredondo. Luego se bifurca en algunos ramales, uno de ellos una falla oblicua, en dirección Sur, hasta Selaya. También se han identificado otras en Tezanos o en la zona de Liébana». Así, pues, y frente a lo que pudiera parecer de que Cantabria se halla sobre zona considerada estable desde el punto de vista sísmico, para González «hay evidencias de que han tenido actividad sísmica en los últimos miles de años».

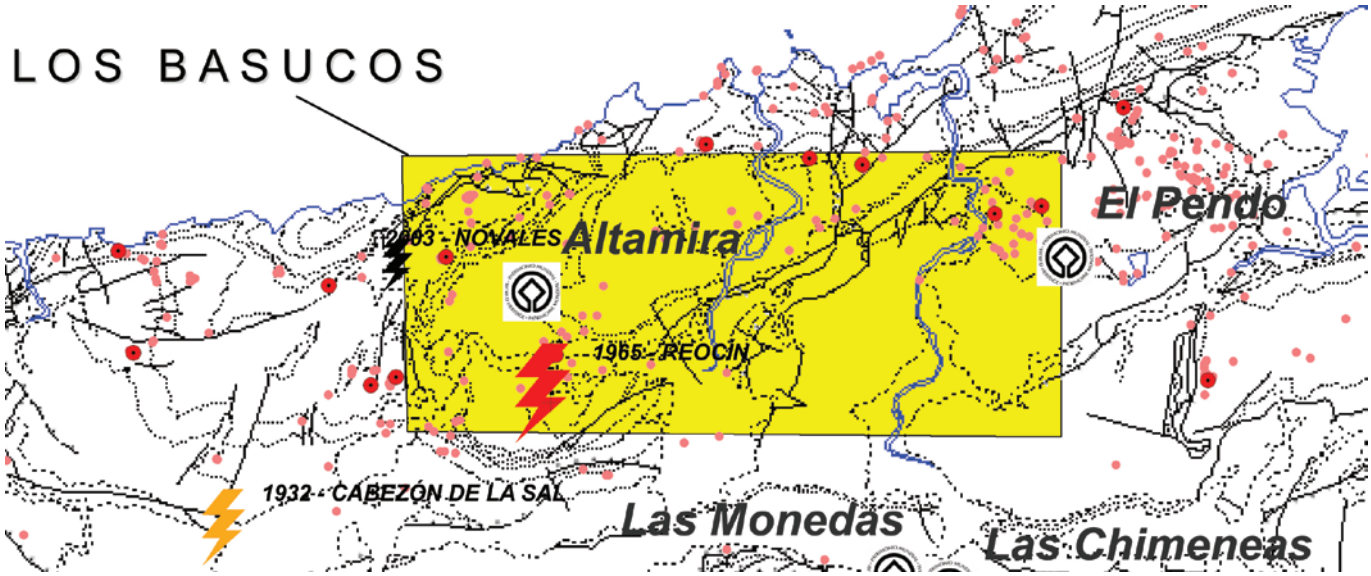
Al igual que en el punto 10 de estos Datos y Argumentos, para visualizar este problema latente en el futuro de las Cuevas Cántabras, hemos añadido al Mapa de Cuevas y Permisos una capa con las fallas probadas (líneas continuas) y las probables (líneas discontinuas) y hemos señalizado los lugares donde se han producido los terremotos más relevantes en Cantabria a lo largo del Siglo XX, desglosandolo por permisos. Los resultados reflejan una actividad sísmica reciente en todos los permisos de la geografía cántabra.

En los siguientes subapartados los textos entrecomillados corresponden a textos publicados por Antonio Aretxabala (geólogo y profesor de Geotecnia y Geomorfología en la Universidad de Navarra) en su blog.

14.1 PERMISO LOS BASUCOS (EN FASE DE SOLICITUD)

LUGAR DEL TERREMOTO	AÑO	INTENSIDAD	MAGNITUD
Reocín	1965	VII	4.1
Cabezón de la Sal	1932	V	?
Novales	2003	II-III	2.3

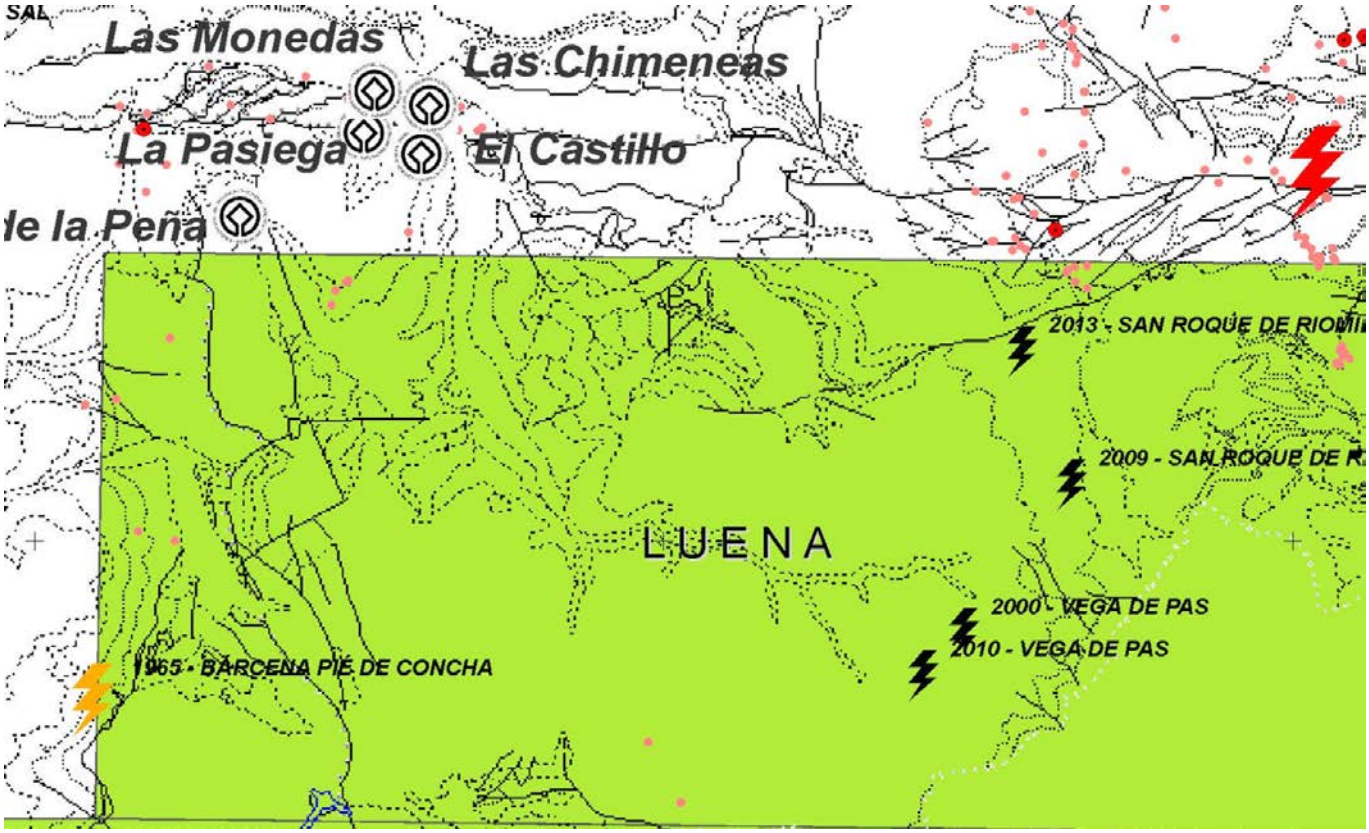
«El terremoto de Reocín fue ampliamente sentido por la población de Santander, muchos se asustaron y salieron de los edificios, hubo muchas llamadas a protección civil. En Torrelavega hubo gente que salió lanzada, fue especialmente fuerte, hubo daños en viviendas, grietas, caídas de mobiliario, etc., la gente salió despavorida de sus casas. La peor parte se la llevó Reocín, una galería de las minas colapsó, lo que produjo un efecto dominó que se llevó a otras galerías con ella, lo que contribuyó al hundimiento instantáneo de más de 300 casas.»



14.2 PERMISO LUENA (CONCEDIDO)

LUGAR DEL TERREMOTO	AÑO	INTENSIDAD	MAGNITUD
Arredondo	1938	VII	4.9
Bárcena de Pie de Concha	1965	?	3.6
Vega de Pas	2000	II	2.9
San Roque de Río Miera	2009	II	2.5
Vega de Pas	2010	II	2.6
San Roque de Río Miera	2013	II	3.4

«No se puede evitar la ocurrencia de algunos de estos fenómenos naturales, tampoco las desviaciones de magnitud y frecuencia de sus episodios respecto de la media. Pero sí que se pueden, y se deben, minimizar sus efectos sobre bienes y personas, conociendo y respetando las necesidades de funcionamiento natural del medio. Ello nos obliga a conocer las características geológicas del suelo y a no sobrepasar la capacidad del territorio para albergar los usos que realmente puede aceptar, aunque en un momento determinado pueda interesar política o económicamente aceptar otros planteamientos, veremos cómo ello ha traído ya grandes disgustos. Reocín ya ha sido el escenario de dos catástrofes.»



14.3 PERMISO GALILEO (EN FASE DE SOLICITUD)

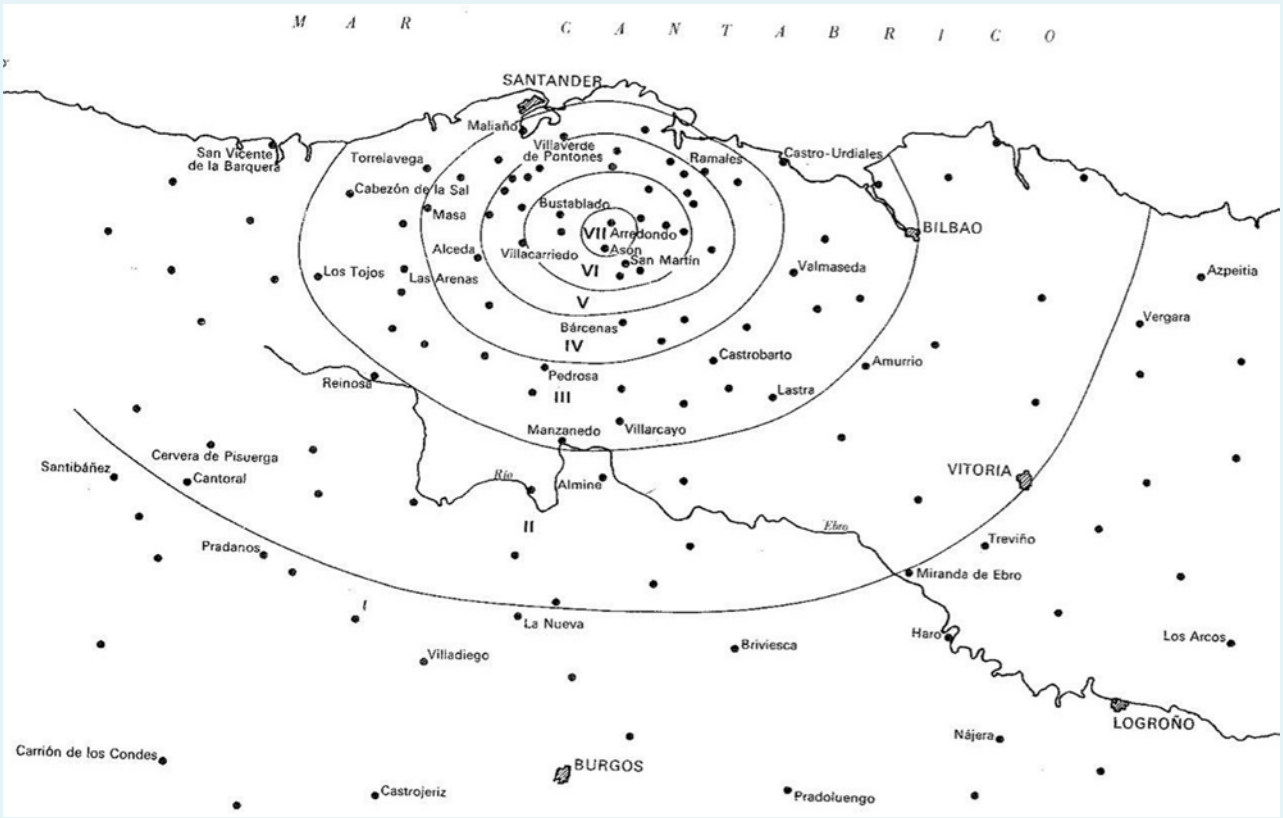
LUGAR DEL TERREMOTO	AÑO	INTENSIDAD	MAGNITUD
Arredondo	1938	VII	4.9
Laredo	1984	?	3.4
Riba	1987	?	3.1
La Cavada	1994	?	3.6
Rubayo	2009	?	3.7

«El terremoto de Arredondo de 1938 alcanzó una intensidad destructiva de VII. Impactó en Bilbao, Vitoria, Soria y buena parte del resto de Vizcaya, Álava, Burgos, Palencia y Asturias.» Ver cuadro 11.

CUADRO 11

TERREMOTO DE ARREDONDO

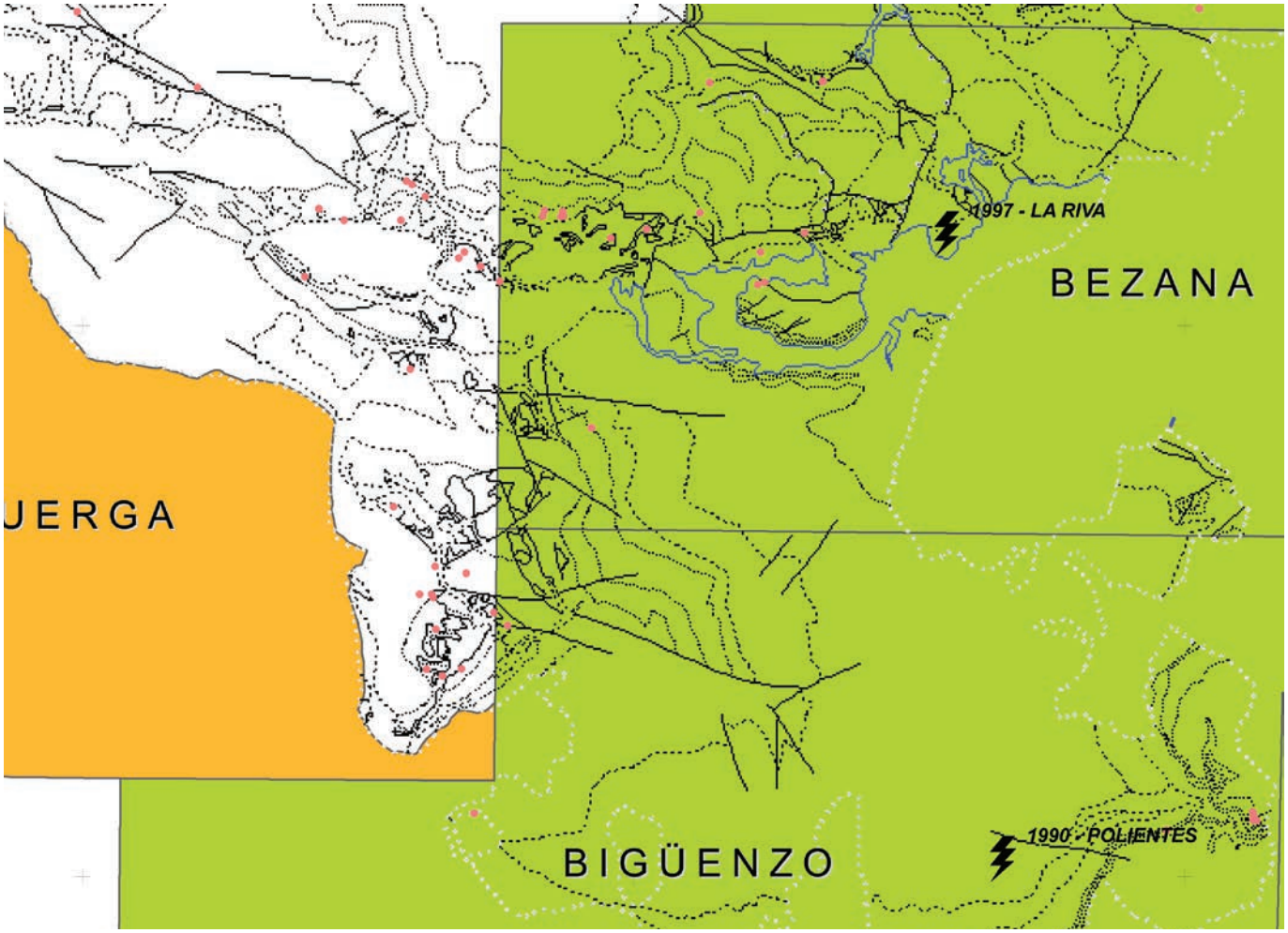
Catálogo General de Isosistas de la Península Ibérica, J. Mezcua, Publicación 202, Instituto Geográfico Nacional. Madrid 1982



14.4 PERMISOS BEZANA - BIGÜENZO (CONCEDIDOS)

LUGAR DEL TERREMOTO	AÑO	INTENSIDAD	MAGNITUD
Polientes	1990	III	3.4
La Riva	1997	?	3.1

«Cantabria es una región de una riqueza geológica inigualable, pero eso no sólo significa abundancia de especímenes geológicos: suelos, rocas, formaciones y formas más o menos bellas y llamativas, supone también una presencia de configuraciones y disposiciones peculiares de sus macroestructuras, la mayor parte de ellas invisibles por situarse en el subsuelo. Pueden ser especialmente dañinas a la hora de actuar como medio de transmisión, amplificación, expansión o redireccionado de las ondas sísmicas generadas en nuestras aún desconocidas fallas; nos referimos a efectos locales, licuefacciones, colapsos, amplificaciones en zonas cuaternarias o sobre auténticas cajas de resonancia sísmica, etc., estudios pendientes todavía en nuestra región. Ni siquiera sabemos si sobre alguna de esas circunscripciones singulares ya viven miles de personas; podría ser el caso de algunos de los nuevos asentamientos urbanos originados de esa manera desmedida que la vorágine constructiva y especulativa de las dos últimas décadas nos legó.»



15. TRÁFICO DE CAMIONES Y AFECCIONES SOBRE LAS CUEVAS DE ARTE RUPESTRE

Los camiones se usan para transportar el material a las plataformas, para transportar agua en camiones cisterna, para transportar productos químicos, para transportar el gas extraído, para realizar los sondeos exploratorios, etc. Son uno de los principales causantes de fugas y vertidos, bien sea por errores humanos o por accidentes de tráfico. Una plataforma de seis pozos requiere entre 8 y 12 meses de perforación continua, día y noche. También se necesitan entre 4.000 y 6.000 viajes en camión para la construcción de una plataforma, con la consiguiente presión para pueblos y carreteras. Lo mismo ocurriría con las Cuevas de Arte Rupestre Cántabras, además de la contaminación química y del riesgo exponencialmente aumentado de terremotos, se tendrían que enfrentar al continuo trasiego de camiones de alto tonelaje. Esto supondría una alteración tanto del entorno de la Cueva (vital para su preservación) como daños irreparables directos sobre las pinturas, tales como la aparición de nuevas fisuras, caídas de roca soporte, alteración de las condiciones de humedad y temperatura, alteración de los fenómenos de disolución y precipitación y en general un aumento de la presión sobre las pinturas y las cuevas, presión que acabaría por dañarlas irreversiblemente.

Las vibraciones permanentes producidas por los camiones de alto tonelaje afectan de manera sostenida a las estructuras naturales de las pinturas rupestres. Además, el aumento de la circulación vial en áreas de patrimonio rupestre contribuye a la formación de lluvias ácidas que a medio plazo producirían alteraciones irrecuperables en las pinturas.

16. BIBLIOGRAFÍA

Secretaría de Estado de Energía, Ministerio de Industria, Energía y Turismo de España. http://www.minetur.gob.es/energia

Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado, Ministerio de la Presidencia de España. https://www.boe.es/

Ley 34/1998, de 7 de octubre, del sector de hidrocarburos. https://www.boe.es/buscar/act.php?id=-BOE-A-1998-23284

Ley 1/2013, de 15 de abril, por la que se regula la prohibición en el territorio de la Comunidad Autónoma de Cantabria de la técnica de fractura hidráulica como técnica de investigación y extracción de gas no convencional. https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2013-4828

Anulación por el Tribunal Constitucional de España de la Ley 1/2013 de Cantabria. http://www.tribunalconstitucional.es/es/salaPrensa/Documents/NP_2014_054/2014-00498STC.pdf

Ministerio de Agricultura, alimentación y Medio Ambiente de España. http://www.magrama.gob.es

Insituto Geológico y Minero de España. http://www.igme.es/

Recomendaciones Ambientales en Relación con las Medidas Preventivas y correctoras a Considerar en Proyectos Relacionados con la Exploración y Explotación de Hidrocarburos Mediante Técnicas de Fractura Hidráulica, Instituto Geológico y Minero de España. Enero de 2014. http://www.efeverde.com/wp-content/uploads/2014/07/Informe_IGME_Fracking_2014.pdf

Repercusiones de la extracción de gas y petróleo de esquisto en el medio ambiente y la salud humana. Parlamento Europeo, Comisión de Medio Ambiente, Salud Pública y Seguridad Alimentaria, Junio 2011

Shale gas: a provisional assessment of climate change and environmental impacts. Tyndall Centre, Universidad de Manchester, Enero 2011

Modern shale development in the United States: A Primer. U.S. Department of Energy, Abril 2009

Identification of latent faults using a radon test

The theory of ground-water motion. M. King Hubbert. Novermber-December 1940. the Journal of Geology.

A Theoretical Analysis of Groundwater Flowin Small Drainage Basins, J. Tóth, Agosto 196,. Journal of Geophysical

Some Concerns about Hydrofracturing in Shale-Gas Production, Arthur N. Palmer. 2011

Las Aguas subterráneas en España, Navarro Alvargonzález, Agustín; Fernández Uría, Antonio; Doblas Domínguez, Juan Gonzalo, 1993. IGME

Lista de Patrimonio Mundial de la Unesco, http://whc.unesco.org/en/list/310/

http://www.culturadecantabria.com/cuevas-con-arte-rupestre

http://cuevas.culturadecantabria.com/

Fracking Arrives at the 'Sistine Chapel' of Prehistoric Art, Pablo Pardo, 2/2/2012, http://energyblog.nationalgeographic.com/2012/02/02/fracking-arrives-at-the-sistine-chapel-of-prehistoric-art/

Induced seismicity associated with fluid injection into a deep well in Youngstown, Ohio, Won-Young Kim, Journal of Geophysical Research: Solid Earth Vol 118 Issue 7, 19/07/2013

Characterization of an Earthquake Sequence Triggered by Hydraulic Fracturing in Harrison County, Ohio, Paul A. Friberg, Glenda M. Besana-Ostman, and Ilya Dricker, Seismological Research Letters, 15/10/2014

Injection-Induced Earthquakes, William L. Ellsworth, Science 12 July 2013: Vol. 341 no. 6142

Sismicidad en el Golfo de Valencia Septiembre/Octubre-2013, dirección General de Protección Civil y Emergencias, Ministerio del Interior de España. http://www.proteccioncivil.es/documents/11803/70376/Informe+de+seguimiento+de+la+sismicidad+en+el+-Golfo+de+Valencia

Identification of latent faults using a radon test, A. González-Díez, Geomorphology Volume 110, Issues 1-2, 1 September 2009

Blog de Antonio Aretxabala Díez, Geólogo de la Escuela de Arquitectura de Navarra, España. http://antonioaretxabala.blogspot.com.es/

Catálogo General de Isosistas de la Península Ibérica, J. Mezcua, Publicación 202, Instituto Geográfico Nacional. Madrid 1982

Asamblea Contra la Fractura Hidráulica de Cantabria
fracturahidraulicano@gmail.com
http://www.fracturahidraulicano.info
Mayo de 2015