

# Aprovechamiento de metano en la cuenca carbonífera central asturiana: trabajos recientes

## *The use of methane in the asturian central coal basin: recent work*

NOEL CANTO TOIMIL

*Hulleras del Norte S.A. S.M.E. (HUNOSA), Departamento de Nuevos Desarrollos, Avenida de Galicia 44,  
33005 Oviedo, Asturias. España  
(E-mail: noelcanto@hunosa.es)*

---

**Resumen:** La explotación de hidrocarburos no convencionales, entre ellos el del metano contenido en las capas de carbón (CBM: Coal Bed Methane), ha experimentado un gran auge en los últimos años. La Cuenca Carbonífera Central Asturiana (CCCA) ofrece un gran potencial para desarrollar proyectos de este tipo, como lo atestiguan las investigaciones y valoraciones llevadas a cabo en esta zona desde los años 90 del siglo XX. HUNOSA, la empresa minera estatal que opera actualmente en la CCCA, ha realizado una serie de investigaciones en los últimos años encaminadas al estudio de las posibilidades de desarrollar proyectos vinculados al aprovechamiento de metano del carbón, ya sea VAM, AMM, CMM o CBM. Los resultados obtenidos muestran que el CBM es el tipo de proyecto más adecuado actualmente para desarrollar en la CCCA.

**Palabras clave:** carbón, CBM, Cuenca Carbonífera Central Asturiana, HUNOSA, metano.

**Abstract:** The exploitation of unconventional hydrocarbon deposits has increased in recent years. Methane from coal seams represents one of these gas resources. The Central Asturian Coalfield (CAC) has a high potential to develop these types of projects, as many studies and research carried out since the 90's (20th century) confirm. HUNOSA, the stated-owned coal-mining company that currently operates in this area, has performed research for the last years focused on assessing the feasibility of developing projects related to methane exploitation: VAM, AMM, CMM and CBM. These studies have concluded that CBM projects would be the most adequate technique to be implemented in CAC.

**Keywords:** COAL, CBM, Central Asturian Coalfield, HUNOSA, methane.

---

El metano es el compuesto que forma casi exclusivamente el gas natural, y constituye una de las principales fuentes de energía del planeta. En el año 2013 el gas natural fue responsable del 21,4% de la energía primaria a nivel mundial, por detrás del carbón (28,9%) y del petróleo (31,1%) (IEA, 2015). La producción de gas en el mundo ha seguido siempre una tendencia creciente y alcanzó en el año 2014 los 3524 bcm (miles de millones de metros cúbicos). En Europa en general y en España en particular también constituye una fuente de energía muy importante, siendo, después del petróleo, la más consumida (CARBUNIÓN, 2013; SEDIGAS, 2013). La dependencia del gas natural constituye un problema grave en aquellos países con una escasa o nula producción de metano, como es el caso de España. El Estado Español demandó 25,4 bcm de gas natural en 2014, de los cuales aproximadamente el 99,9% fue importado (SEDIGAS, 2014). En las últimas décadas, y especialmente en los últimos años, muchos países han fomentado la explotación e investigación del denominado gas no convencional, es decir, yacimientos de gas asociados a materiales de baja permeabilidad, que dependiendo de la roca almacén se denominan *tight gas* si el almacén lo constituyen areniscas de baja permeabilidad, *shale gas* si se trata de lutitas y *coal bed methane* (CBM) si el gas se encuentra en el carbón. Una peculiaridad del *shale gas* y del CBM es que, en estos casos, la mayor parte del gas generado permanece en la propia roca madre, es decir, la roca madre y la roca almacén coinciden. En los últimos años, la explotación masiva de gas no convencional ha permitido incrementar considerablemente las reservas de gas natural en algunos países, tales como EE. UU. y Canadá.

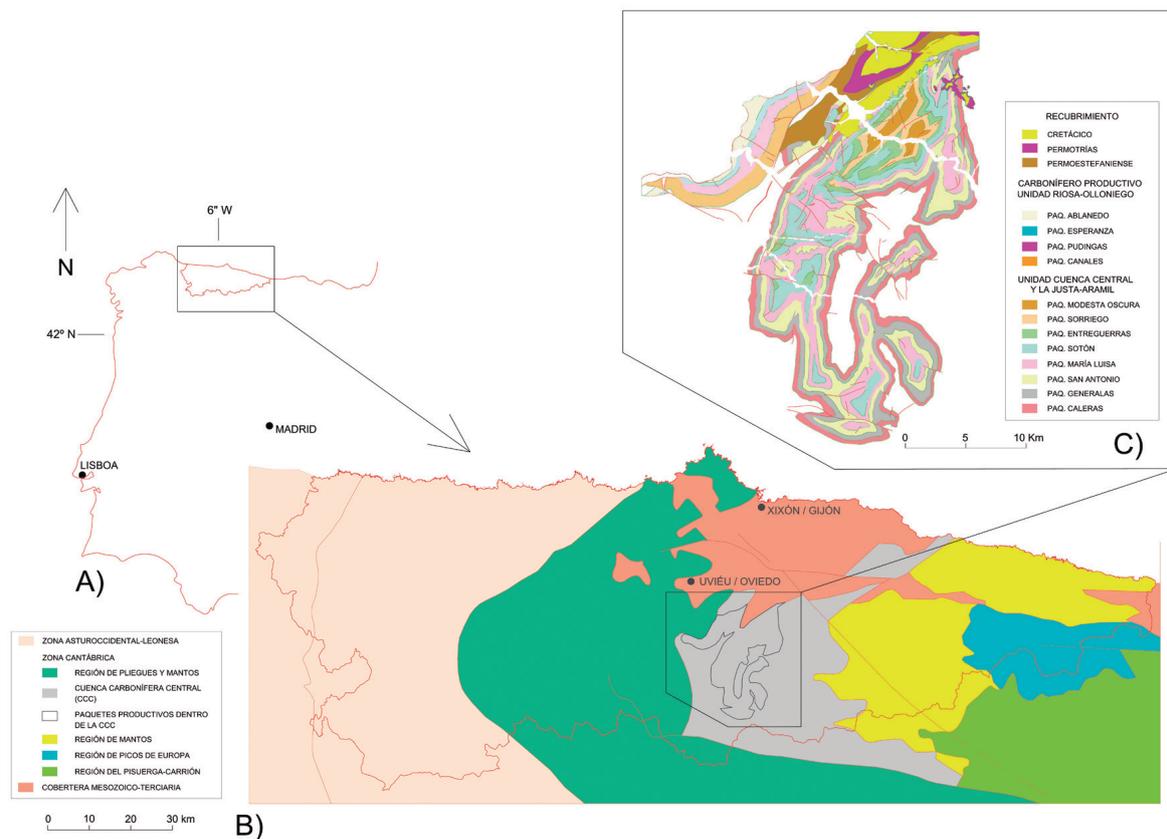
Por todo ello, resulta interesante extender la investigación sobre la viabilidad de la explotación de gas a nuestro entorno, a zonas donde a priori exista gran potencial. Una de ellas, y sobre la que nos centraremos en este artículo, es la Cuenca Carbonífera Central Asturiana (CCCA), donde el objetivo es el aprovechamiento del gas asociado al carbón. La CCCA (Julivert, 1967) es una de las zonas en las que se divide la Zona Cantábrica (Lotze, 1945; Julivert *et al.*, 1972) (Fig. 1) y en ella lleva habiendo explotaciones de carbón desde hace más de siglo y medio. Después de un largo proceso de cierre que ha afectado a multitud de explotaciones, actualmente

solo sobreviven un número pequeño de ellas propiedad de la empresa minera estatal Hulleras del Norte S.A. S.M.E. (HUNOSA), que opera en la zona desde 1967. Tras tantos años de actividad, se dispone de gran volumen de información geológica y minera de esta área, además de multitud de datos relacionados con el comportamiento del metano en el carbón, lo que hace que la investigación pueda apoyarse en un conocimiento previo muy importante.

La gran cantidad de información relativa al metano en el carbón en la CCCA proviene del hecho de que tradicionalmente el metano ha constituido un problema para las explotaciones mineras, por lo que todas las acciones en relación con este gas han tenido como objetivo extraerlo en la medida de lo posible de las capas donde existía una explotación activa, y posteriormente ventearlo hasta superficie de una manera segura donde acababa emitiéndose a la atmósfera. La explotación del metano implica cambiar radicalmente la filosofía: pasando de ser considerado como un problema a representar un recurso. Esto implica también que la información existente tiene que ser analizada desde otro punto de vista y se deben plantear nuevas investigaciones que lleven a abordar un proyecto exitoso.

Existen diversos aspectos que confieren especial importancia a la explotación del metano contenido en las capas de carbón. Además de contribuir al autoabastecimiento energético y a la disminución de la importación de gas, constituye una continuación natural de la minería del carbón, la cual está abocada al cierre a partir del 31 de diciembre de 2018, fecha en la que está previsto que se supriman todas las subvenciones al carbón autóctono, lo que provocará que la práctica totalidad de las explotaciones mineras europeas de interior no sean competitivas y se vean obligadas a cerrar. No obstante, siguen existiendo grandes reservas de carbón, y por tanto de metano, no solo en Asturias, sino repartidas por todo el continente. Por todo ello, sería de especial interés desarrollar proyectos CBM para aprovechar el metano que existe en ese carbón que no va a ser explotado.

Además de estos intereses estratégicos, otros de carácter social y medioambiental apoyan el desarrollo de este tipo de industria. En el primer caso, supone dinamizar comarcas mineras afectadas por severos



**Figura 1.** A) Situación de Asturias dentro de la Península Ibérica. B) Esquema de la disposición de las principales unidades geológicas de Asturias (basada en Aramburu y Bastida, 1995) y C) situación de los paquetes productivos de la Cuenca Carbonífera Central (cartografía propia de HUNOSA basada en ENADIMSA, 1973). Los paquetes productivos representan las formaciones más altas del Westfaliense en la Cuenca Carbonífera Central Asturiana y donde se localizan las explotaciones mineras de HUNOSA.

procesos de reconversión y que sufren, consecuentemente, altos índices de desempleo. Por otro lado, la captación y aprovechamiento de metano permite disminuir considerablemente las emisiones difusas de este gas a la atmósfera. En este sentido, hay que tener en cuenta que el metano, comparativamente, tiene un efecto sobre el calentamiento climático (GWP: Global Warming Potential), más de veinte veces mayor que el CO<sub>2</sub> (IPCC, 2007).

Existen diferentes formas de aprovechamiento del metano del carbón. Por un lado, el ya mencionado CBM, que hace referencia a la extracción de metano de capas vírgenes, es decir, que no han sido minadas. En segundo lugar, el CMM (*Coal Mine Methane*), que implica la recuperación del metano producido durante la actividad minera. Por otro lado tenemos el VAM (*Ventilation Air Methane*), que representa el metano contenido en el aire de ventilación de las minas

que se emite a la atmósfera, y finalmente debemos mencionar el AMM (*Abandoned Mine Methane*), que es el metano recuperado de minas que ya han sido abandonadas. Esta es la terminología más usual con respecto al aprovechamiento del metano asociado a las capas de carbón; no obstante, pueden existir prácticas o técnicas que extiendan o especifiquen más dichos término o incorporen otros distintos.

El presente artículo hace un repaso de los principales parámetros que han de ser tenidos en cuenta al acometer un proyecto de explotación del metano contenido en las capas de carbón en sus distintas formas de aparición, así como los diversos estudios llevados a cabo por HUNOSA para aprovechar el metano existente en sus minas. Igualmente se comentan las conclusiones obtenidas hasta el momento y se exponen algunas indicaciones para continuar la investigación en un futuro.

## Generación del metano en el carbón

El metano del carbón puede tener origen biogénico o térmico. El metano biogénico está relacionado con la actividad bacteriana. Existen comunidades microbianas que se desarrollan en ambientes anóxicos de baja temperatura y con alto contenido en materia orgánica, favorecidas también por un pH alto y bajo contenido en sulfato. En estas condiciones, la producción de metano se realiza por dos vías principales la reducción del ácido acético y la reducción de  $\text{CO}_2$  (Martini *et al.*, 2003).

El metano biogénico se genera en los estadios iniciales de la carbonización y por tanto es el predominante en los carbones de bajo rango. De todas formas, puede existir una producción de metano biogénico en otras etapas de evolución relacionada con percolación de aguas meteóricas que aportan microorganismos susceptibles de realizar una degradación de ese carbón y generar metano. Estudiando las relaciones isotópicas del carbono ( $^{13}\text{C}$  y  $^{12}\text{C}$ ) y del hidrógeno ( $^1\text{H}$  y  $^2\text{H}$ ) se pueden discriminar entre el origen térmico y biogénico del metano (Rice, 1993; Clayton, 1998).

El metano generado térmicamente resulta de los procesos de maduración de la materia orgánica a medida que esta evoluciona condicionada por tres variables fundamentales: presión, temperatura y tiempo. Todos estos procesos van variando la estructura y composición de la materia orgánica. El gas termogénico se da en carbones de medio y alto rango con un pico de generación correspondiente a carbones bituminosos de medio contenido en volátiles (Seidle, 2011).

Junto con el metano también se generan otros tipos de gases durante el proceso de carbonización, principalmente  $\text{CO}_2$  y  $\text{N}_2$ , además de hidrocarburos alifáticos de cadena corta (etano, propano, etc.), por lo que, aunque el compuesto principal del gas del carbón es metano, pueden hallarse también porcentajes pequeños de estos otros gases.

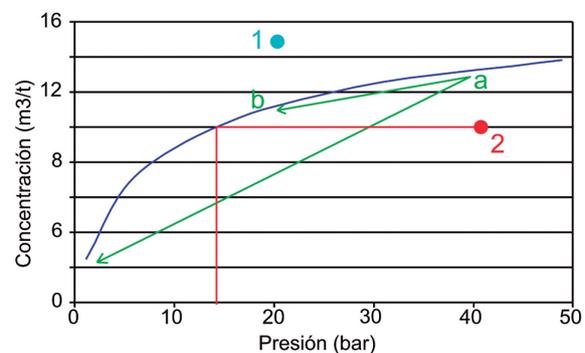
## Estado del metano en el carbón y propiedades relacionadas

El metano en el carbón se encuentra principalmente adsorbido, aunque también existe una pequeña par-

te que está como gas libre en las fracturas y poros. La adsorción es un mecanismo mediante el cual las moléculas de metano están adheridas a las paredes de los poros mediante fuerzas de Van del Waals de atracción entre las moléculas gaseosas y las sólidas (Seidle, 2011). La adsorción de un gas en el carbón depende de la naturaleza de ese gas, de la temperatura, de la presión y de las características del carbón (rango, humedad, etc.). Para un gas y una temperatura determinada, la cantidad teórica de gas adsorbido que puede contener por unidad de masa un carbón concreto depende exclusivamente de la presión. Esta dependencia se ve reflejada en la isoterma de adsorción (Fig. 2).

Las isotermas de adsorción son muy útiles para estimar la cantidad de metano que contiene un carbón. No obstante, hay que adoptar una serie de precauciones y tener siempre en cuenta la dependencia respecto a las otras propiedades mencionadas anteriormente, aspectos que pueden tener gran importancia a la hora de interpretar los resultados.

En la figura 2 puede verse una representación de una isoterma de una capa de carbón que explota actualmente HUNOSA en el Sector Riosa-Olloniego de la CCCA. Si por ejemplo asumimos que encontramos en una zona virgen esa capa de carbón y determinamos que la presión a la que está sometida es 40 bar (Fig. 2, punto *a*) y la temperatura 25 °C, podemos



**Figura 2.** Isoterma de adsorción de metano de la Capa Octava del Paquete Canales, correspondiente a un carbón bituminoso de alto contenido en volátiles. Isoterma realizada a 298°K (25 °C) daf (carbón seco y libre de cenizas), con un tamaño de muestra de entre 40  $\mu\text{m}$  y 250  $\mu\text{m}$ . En abscisas se representa la presión en bares y en ordenadas la concentración en metros cúbicos por tonelada de carbón daf. Ver texto para la explicación del gráfico.

concluir que la cantidad de metano que posee dicha capa es  $13 \text{ m}^3/\text{t}$ . Si descomprimos la capa a temperatura constante hasta alcanzar los 20 bar (Fig. 2, punto *b*), la concentración de metano a esta nueva presión será de  $11 \text{ m}^3/\text{t}$ . Por lo tanto, con la descompresión hemos producido  $2 \text{ m}^3/\text{t}$ . Si la descompresión fuera total, de tal manera que sometemos esa capa a la presión atmosférica, obtendríamos unos  $11 \text{ m}^3/\text{t}$  (pasamos del punto *a* al punto *c*, Fig. 2) si esperáramos el tiempo suficiente. El factor tiempo, que no se ha mencionado hasta ahora, es de vital importancia en la desorción, ya que no todo el metano adsorbido sale instantáneamente, sino que depende de la estructura porosa y las fracturas que conectan todo el entramado de espacios vacíos, es decir, de la permeabilidad de la capa. Al aumentar la permeabilidad, la velocidad de desorción de la capa aumenta.

Si desestimamos la cantidad de metano libre contenido en el carbón por ser esta proporción muy pequeña con respecto al metano adsorbido, podemos asimilar que la concentración dada por la isoterma para una presión determinada representa la cantidad teórica de metano que contiene ese carbón. No obstante, pueden darse situaciones alejadas de este comportamiento teórico. Así, podemos tener un carbón que contenga menos metano de lo que teóricamente le correspondería (Fig. 2, punto 2), lo cual puede ser debido, entre otras cosas, a que esta capa sufrió una despresurización, originada por ejemplo por un levantamiento tectónico y erosión (Ayers, 2002; Lamarre, 2005). En esta situación, para poder empezar a extraer metano del carbón, tendríamos que disminuir mucho la presión, pasando de 40 bares a 13 bares (Fig. 2).

La situación inversa sería la de un carbón sobresaturado. Físicamente no es posible que un carbón esté sobresaturado en gas, ya que, si se excede la capacidad de adsorción del carbón, el gas migraría fuera de este o de permanecer, lo haría como gas libre dentro de su sistema poroso. Por ello, una situación como la que representa el punto 1 de la figura 2 puede ser, o bien debida a errores en el proceso de medidas y ensayos, o bien a que la isoterma representativa del gas contenido en la capa no es la del metano sino la de otro gas o mezcla de gases. De esta manera, el punto 1 de la figura 2 podría corresponder, por ejemplo, a la isoterma de la mezcla de metano y  $\text{CO}_2$ . Otra explicación posible sería que la temperatura de la

capa fuera menor que la de la isoterma, ya que al disminuir la temperatura aumenta la capacidad de adsorción para una presión dada.

La eficacia de la adsorción del carbón para contener metano es muy alta, es decir, por unidad de volumen, el carbón almacena más metano que otros materiales de yacimientos convencionales. Seidle (2011) cita el ejemplo de una capa de carbón de la cuenca de San Juan en la que se determina que, para que una arenisca contuviera la misma cantidad de metano que ese carbón (a  $43 \text{ }^\circ\text{C}$  y 103 bar) debería poseer un 34% de porosidad y, además, que toda ella estuviera ocupada por este gas.

Aparte de la temperatura, presión y naturaleza del gas, las características del carbón influyen en la capacidad de adsorción del mismo, la cual se reduce a medida que aumenta el contenido en materia mineral y humedad. Estas propiedades pueden variar de forma considerable a lo largo de la capa, lo cual ha de ser tenido en cuenta a la hora de extrapolar resultados teóricos obtenidos con isotermas puntuales.

La composición del carbón también influye. Carbones con alto contenido en vitrinita poseen una mayor capacidad de adsorción (Lamberson y Bustin, 1993) debido a la mayor superficie específica que contiene este tipo de maceral. La capacidad de adsorción también aumenta generalmente con el rango; no obstante, algunos autores han encontrado comportamientos que se alejan de esta regla general (Marvor *et al.*, 1990; Arri *et al.*, 1992; Hall *et al.*, 1994). De todas formas, aunque la capacidad de adsorción suele ser mayor en rangos más altos, la porosidad y permeabilidad en carbones muy evolucionados suele ser pequeña, por lo que los proyectos de CBM suelen evitar estos carbones. No obstante, una fracturación adecuada en estos casos puede facilitar la viabilidad de la explotación de metano. Gan *et al.* (1972) señala que a pesar de que la porosidad total disminuye con el rango, la proporción de microporos aumenta con este.

### Permeabilidad del carbón

Una propiedad estructural del carbón de suma importancia para un proyecto CBM es la permeabilidad,

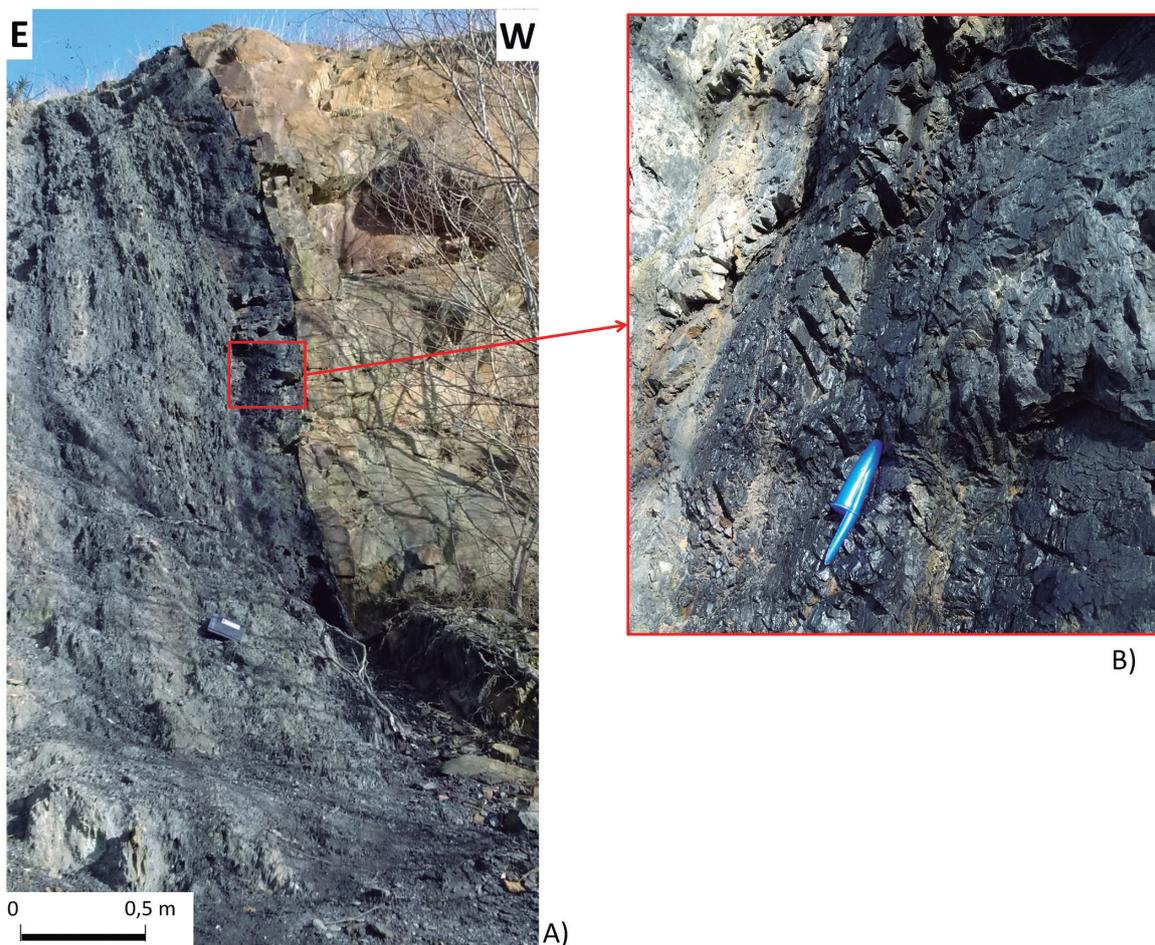
ya que el objetivo no es solo localizar capas con alta concentración de metano, sino que además ese metano debe fluir con relativa facilidad y para ello la permeabilidad debe ser adecuada. La permeabilidad depende del grado de conexión entre los poros del carbón, que se encuentra directamente relacionado con el desarrollo de unas fracturas muy características de este material: los *cleats* (Fig. 3).

Los *cleats* son fracturas naturales relacionadas con procesos de deshidratación y desvolatilización que se producen durante la formación del carbón. Suelen formarse dos sistemas ortogonales entre sí, perpendiculares a la estratificación y con distinto desarrollo. Las fracturas más continuas, que se forman primero, se denominan *face cleats*, y las más tardías, que se extienden entre las primeras, se denominan *butt cleats* (Laubach *et al.*, 1991; Kulander y Dean, 1993).

Además, el *face cleat* suele ser a su vez perpendicular al plano axial de los pliegues, es decir, paralelo al esfuerzo máximo compresivo.

Aparte de esta fracturación primaria, el carbón puede tener fracturas causadas por actividad tectónica, que pueden también modificar el sistema de *cleats*.

La longitud, altura, apertura y espaciado de los *cleats* son bastante variables (Tremain *et al.*, 1991; Gamsen *et al.*, 1993; Laubach *et al.*, 1998) y todas estas propiedades condicionan la permeabilidad del carbón (Laubach *et al.*, 1998). Debido al desigual desarrollo de los sistemas de *cleats*, la permeabilidad adopta un carácter anisótropo, pudiendo llegar a ser de tres a diez veces mayor en la dirección del *face cleat* que en otra dirección distinta (McCulloch *et al.*, 1974). La reducción del espaciado de los *cleats*,



**Figura 3.** A) Afloramiento de una capa de carbón del paquete Entreerregueras (sección E-W, polaridad hacia el W). B) Detalle de los *cleats* presentes en la capa.

y por tanto de la permeabilidad, puede ser originada por un aumento de la presión de confinamiento y por la cristalización de minerales en los huecos.

Los carbones subbituminosos tienen un escaso desarrollo de los *cleats*, mientras que los bituminosos suelen presentar los dos sistemas mencionados. En el rango de las antracitas, los *cleats* se pierden y el carbón adquiere una estructura más frágil, apareciendo fracturas de origen tectónico principalmente (Seidle, 2011). Aunque el desarrollo de *cleats* está relacionado con el rango, es muy difícil de inferir la permeabilidad de un carbón a partir del rango del mismo.

Esta dependencia tan estrecha entre el desarrollo y orientación de los *cleats* y la permeabilidad del carbón es determinante para el diseño de la explotación del metano, ya que el conocimiento de las características y distribución de estas fracturas ayuda a diseñar las direcciones de perforación más adecuadas para maximizar la permeabilidad del sondeo.

### **Actividades recientes de HUNOSA en la Cuenca Carbonífera Central**

Hasta ahora hemos incidido en la importancia que tienen varias propiedades básicas del metano en el carbón en los proyectos CBM. Por un lado, el estado del gas en las capas, la adsorción y su relación con las propiedades del carbón, y por otro la permeabilidad y su relación con la fracturación y la presión. No obstante, existen muchos otros aspectos que han de ser estudiados y deben ser tenidos en cuenta, como son la hidrogeología, la geología y estructura del yacimiento, las propiedades mecánicas de los materiales, la fracturación, la existencia y características de minería previa, etc. Del estudio de todos estos aspectos dependerá el éxito de nuestro proyecto.

En los últimos años, desde HUNOSA se ha abordado la viabilidad de la explotación del metano contenido en las capas de carbón, participando en varios proyectos europeos (CARBOLAB y LOWCARB) y autonómicos, y en permisos de investigación de hidrocarburos en Asturias. La empresa dispone de gran cantidad de datos geológicos y mineros, además de información referente a concentraciones de metano de distintas capas. En relación con esto último,

nos encontramos con algunos problemas derivados de un aspecto ya comentado, que es que el objetivo tradicional a la hora de estudiar el metano era la seguridad y no la explotación del gas. En este sentido, los datos conciernen en su mayoría a capas que se explotaban y tenían una peligrosidad alta, lo cual no tiene por qué coincidir con nuestro objetivo exploratorio. De hecho, en general no suele coincidir, ya que las capas que normalmente presentan más riesgo son las más impermeables, debido a que el metano, al no salir fácilmente, presenta un peligro constante en la mina. Por el contrario, las capas permeables, pueden desorber fácilmente, lo que implica que con un buen diseño de la ventilación se evitan los problemas que puede generar en la explotación. Además de este hecho, los datos de concentraciones de metano se toman dentro de la mina en los frentes de explotación, haciendo pequeños sondeos de varios metros, con lo cual, la información se adquiere en zonas ya alteradas (zonas que ya desorbieron mucho gas) por lo que se está subestimando la cantidad de metano que contiene la capa.

Todo esto supone que abordar una investigación de este tipo conlleve una reinterpretación de todos los datos y la adquisición de nueva información para llevar a cabo un proyecto de CBM.

Durante los últimos años, la investigación en HUNOSA se ha centrado en estos aspectos fundamentales que condicionan el CBM, aunque paralelamente se han estudiado otros tipos de aprovechamiento de metano siguiendo otras vías que darían resultados más inmediatos, como son: (1) la recuperación del metano emitido por minería de montaña abandonada (AMM), (2) el aprovechamiento del metano contenido en el aire de ventilación de las minas (VAM), y (3) el estudio de las posibilidades que ofrecen zonas ya explotadas dentro de la mina (CMM). De todo esto se hablará en los siguientes apartados antes de centrarnos en el CBM.

#### *AMM y VAM*

Las bocaminas representan los accesos al macizo en las explotaciones mineras de montaña. Estas constituían el tipo de explotación existente en la CCCA hasta que se empezaron a profundizar los pozos en

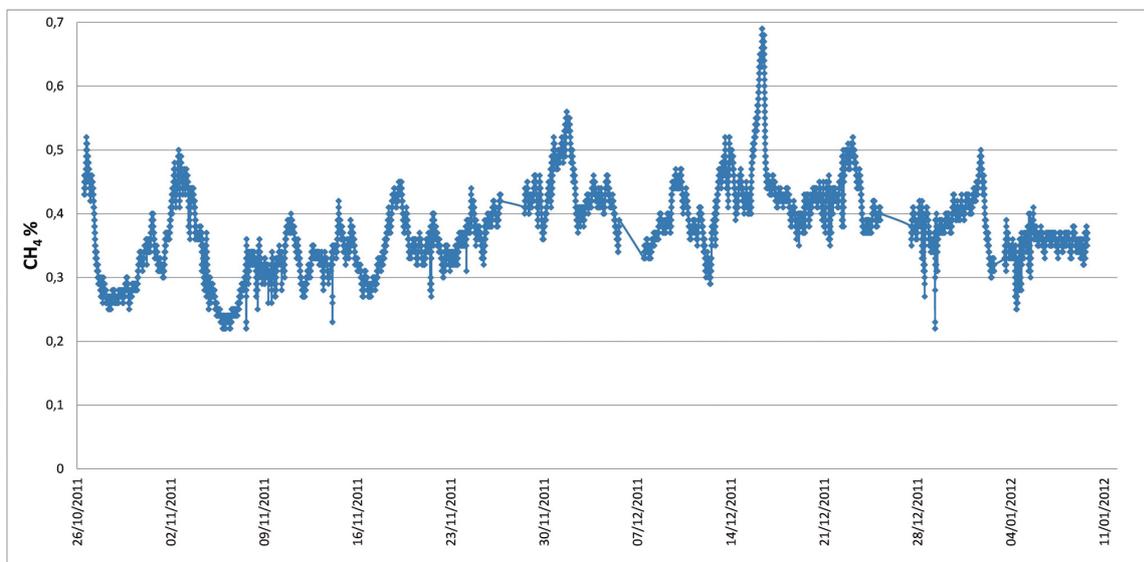
el fondo de los valles. Por tanto, la CCCA tiene gran cantidad de bocaminas dispersas por todo el territorio y que conectan la superficie con el macizo que contiene capas de carbón.

En un primer intento de aprovechamiento de metano, se estudiaron diferentes bocaminas para ver si a través de ellas se emitía metano en cantidad suficiente y de modo continuo como para que pudiera ser aprovechado (AMM). Los resultados no fueron positivos debido a las múltiples interconexiones que poseen las bocaminas investigadas con superficie o labores de explotación de pozos activos de fondo de valle y por tanto con los circuitos de ventilación de esos pozos. Por todo ello, el aire que salía por las bocaminas tenía en la mayoría de los casos una composición muy próxima a la atmosférica.

Por otro lado, se llevó a cabo una campaña de medición de la concentración de metano del aire de ventilación de las minas activas (VAM). Concretamente se midió el aire que procede del barrido de galerías y paneles de explotación en los ventiladores de los pozos inmediatamente antes de ser liberado a la atmósfera. Es decir, el aire que resulta del barrido de las galerías y los paneles de explotación de las minas. El estudio se llevó a cabo en los pozos activos de HUNOSA, viéndose que en alguno de ellos la concen-

tración, aunque muy pequeña, resultaba interesante para poder diseñar algún método de aprovechamiento. La concentración más alta la aportó el Pozo María Luisa (0,377% en volumen, de media). Aunque *a priori* esta concentración no parezca significativa (Fig. 4), debido al gran volumen de aire movido por el ventilador (77,7 m<sup>3</sup>/s), actualmente existe tecnología (como por ejemplo los reactores catalíticos de flujo inverso) que puede aprovechar estas concentraciones tan bajas.

El proyecto resulta interesante, ya que la quema de ese metano implicaría un aprovechamiento térmico de la energía de combustión al mismo tiempo que un beneficio medioambiental (recordamos que el metano tiene un efecto invernadero muy superior al del CO<sub>2</sub>). De todas formas, el proyecto tiene sentido únicamente en un contexto de minería activa, debido a que se necesita que esté funcionando una ventilación que arrastre todo el metano que las distintas capas de carbón van desorbiendo. Además, la propia explotación de carbón, y el propio desarrollo de la mina, va abriendo nuevos frentes, y por tanto más puntos por los que puede ir desorbiendo metano. Desgraciadamente, ante el inminente fin de la explotación de carbón, carece de sentido abordar proyectos tan dependientes de la actividad minera.



**Figura 4.** Concentración de metano (m<sup>3</sup>/t) en el aire de ventilación del Pozo María Luisa emitido a la atmósfera. Registros desde el 26 de noviembre de 2011 hasta el 9 de enero de 2012.

### *Zonas ya explotadas en interior de mina*

Las conclusiones del párrafo anterior hacen ver que cualquier intento de llevar a cabo el aprovechamiento de metano con acciones dependientes de la minería de interior activa no es viable en el contexto actual. Esto es válido también para lo que se comenta en este apartado.

En HUNOSA se han evaluado también las posibilidades de aprovechamiento del metano existente en zonas de la mina parcialmente explotadas, lo que se puede clasificar como una recuperación tipo CMM. En alguna de estas zonas se investigó si la concentración de metano era lo suficientemente alta como para acometer su extracción y aprovechamiento. Desafortunadamente, las conclusiones fueron que, por muy aisladas que estuvieran estas zonas, tenían conexiones con el resto de la mina a través de macizos de explotación, fracturas, etc., por lo que la concentración de metano en el aire en estas zonas era similar a la existente en el aire de ventilación general que se emitía a la atmósfera. Se llevaron a cabo estudios también de aspiración forzada en estas zonas y se determinó que únicamente se conseguía aumentar la circulación y por tanto la conexión del aire, produciendo así una homogenización todavía mayor con el aire general de ventilación de la mina.

Estos estudios permitieron concluir que la única forma viable de afrontar el estudio del aprovechamiento de metano contenido en las capas de carbón, pasa por la técnica ya mencionada de CBM, es decir, la realización de sondeos desde el exterior que corten capas de carbón de macizos vírgenes y aprovechar el metano desorbido por las mismas.

### *CBM*

El proyecto que más lejos ha llegado en el estudio de las posibilidades de extracción de metano de la CCCA fue el emprendido por HUNOSA y Union Texas a principios de los años 90 del siglo pasado, que se materializó en la realización de dos sondeos, uno en la plaza del Pozo María Luisa en 1992 denominado Asturias Central-1 y otro en la escombrera del Pozo Modesta en 1993 denominado Modesta-1 (Gu-

tiérrez Claverol *et al.*, 2005; Sáenz de Santa María Benedet y Gutiérrez Claverol, 2013). Otro sondeo de mucha menos envergadura, pero con el mismo objetivo, fue ejecutado también en la misma zona en el año 2004 (Cienfuegos y Loredó, 2008).

Se han realizado multitud de trabajos sobre las posibilidades de aprovechamiento de metano en la CCCA (AITEMIN, 1990; Sáenz de Santa María Benedet, 2002; IGME, 2003; Zapatero, *et al.*, 2004, Fernández Fernández, 2006; Loredó *et al.*, 2006; Cienfuegos y Loredó, 2010; Sáenz de Santa María Benedet y Gutiérrez Claverol, 2013). En algunos de ellos se llega a evaluar la cantidad de metano existente a partir de cubicaciones de carbón y concentraciones de metano de las capas. No obstante, estas evaluaciones tienen en común diversos aspectos que pueden llevar a una estimación errónea de la cantidad de metano aprovechable por varias razones que se comentan en los párrafos siguientes.

En primer lugar, se suele partir de concentraciones medias de ensayos y medidas tomadas en el interior de las explotaciones mineras cuyo objetivo era fundamentalmente la seguridad de las labores. Sin entrar en el detalle del método usado para la determinación de estas concentraciones, podemos únicamente señalar que el procedimiento seguido en HUNOSA (Especificación Técnica 0308-5-92 del Ministerio de Industria) conlleva la realización de sondeos cortos en los frentes de explotación (generalmente de 15 metros de longitud) que sirven para tomar las muestras y calcular los parámetros necesarios. Esto implica que se está trabajando en zonas descomprimidas y por tanto parcialmente desorbidas, con lo que, teóricamente, las concentraciones medidas subestiman la cantidad de metano existente en capas vírgenes alejadas de las explotaciones mineras, objetivos de un proyecto de CBM.

En este sentido, por ejemplo, IGME (2003) proporciona cifras que, dependiendo de las zonas, oscilan entre los 3,79 m<sup>3</sup>/t a los 10,81 m<sup>3</sup>/t (carbón libre de cenizas). Los datos obtenidos en la realización de los sondeos Asturias Central-1 y Modesta-1 muestran unas concentraciones que llegan hasta los 19 m<sup>3</sup>/t en el caso de Modesta-1, lo que da una idea de la diferencia que puede haber en función de la metodología empleada.

Por otro lado, las estimaciones no tienen en cuenta los *carboneros*, capas de escasa potencia que en general no son objeto de explotación, pero que, al igual que las explotables, contienen metano. En este sentido, hay que señalar que también se obvian los niveles de lutitas con alto contenido en materia orgánica, que también produjeron metano durante la maduración de esta. Finalmente hay que añadir la posibilidad de que existan capas, por ejemplo de areniscas, que puedan almacenar metano en su espacio poroso, adonde habría llegado tras migrar a través del macizo desde las rocas madre productoras. Todo esto hace pensar que la cantidad de metano realmente existente en toda la sucesión debe de ser mayor que la estimada.

En contra de todo esto, debemos de tener en cuenta que no se puede extraer todo el metano que existe en una capa de carbón, lo cual reducirá considerablemente nuestras expectativas.

La CCCA presenta unos rangos de carbón adecuados para llevar a cabo proyectos de CBM si se prescindieren de las zonas meridionales, donde están presentes las antracitas (Piedad-Sánchez *et al.*, 2004; Colmenero *et al.*, 2008). En la mitad norte existen carbones poco evolucionados que teóricamente no han alcanzado el pico de producción de metano. No obstante, esto no quiere decir que no tengan gas, sino que simplemente con un grado de maduración mayor hubieran generado más metano. Por ello, es conveniente incluirlos a la hora de buscar zonas propicias para proyectos CBM, como así lo hicieron todos los estudios previos (AITEMIN, 1990; Sáenz de Santa María Benedet, 2002; IGME, 2003; Zapatero, *et al.*, 2004, Fernández Fernández, 2006; Loredo *et al.*, 2006; Sáenz de Santa María Benedet y Gutiérrez Claverol, 2013).

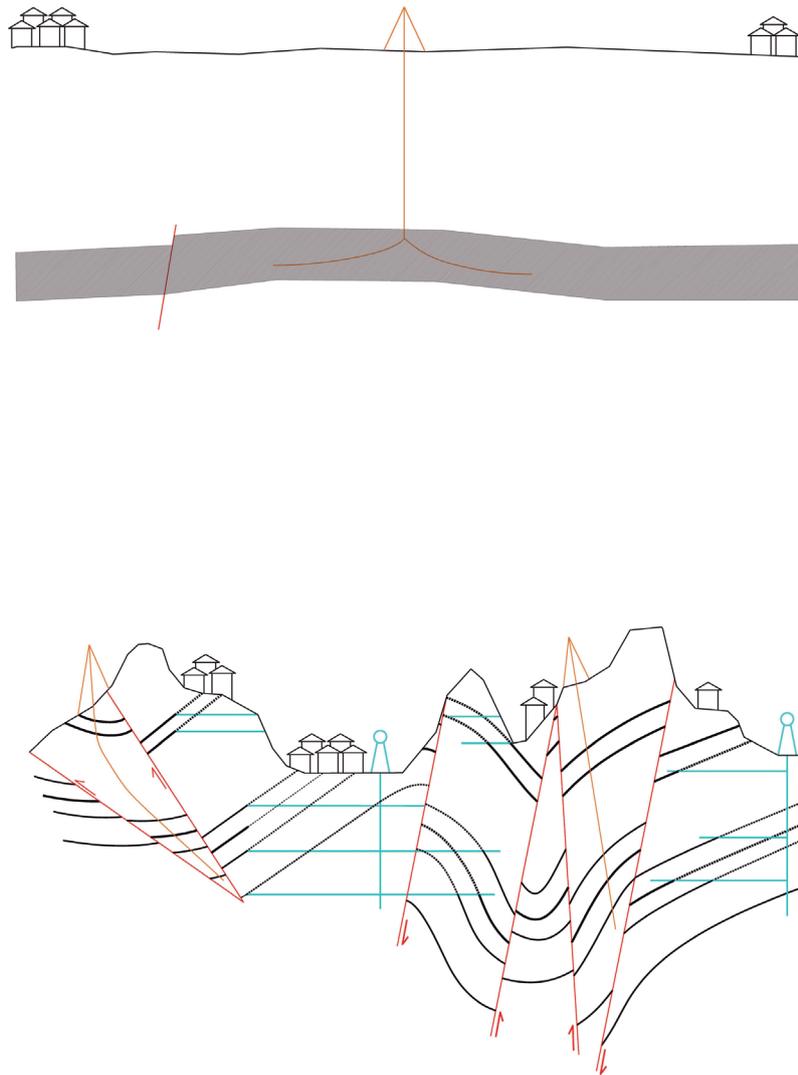
En cuanto a las permeabilidades, se considera que a partir de 0.1–1 mD se pueden llevar a cabo proyectos de CBM (Boyer *et al.*, 2011, Schlumberger, comunicación personal). No obstante, esto depende de multitud de factores, especialmente económicos, ya que la necesidad de recuperar una inversión muy alta puede obligar a abordar únicamente proyectos muy productivos, para lo cual habría que buscar carbones muy permeables o realizar una intensa estimulación de la capa en carbones de baja permeabilidad. En

HUNOSA se han realizado en los últimos años ensayos de permeabilidad *in situ* de algunas capas de carbón. El procedimiento generalmente seguido, explicado de una manera resumida, consiste en la realización de al menos dos sondeos paralelos que corten perpendicularmente la capa de carbón estudiada. Posteriormente se sellan con un obturador dichas capas y se espera a que se estabilice la presión de gas en ambos sondeos. A continuación, se abre uno de ellos y se registra la variación de presión con el tiempo en el otro, la cual es función de la permeabilidad de la capa. Estos ensayos han proporcionado valores que van desde 0,03 mD (Capa Julia del paquete María Luisa, en el Pozo Sotón) a 10 mD (Capa Octava del paquete Canales, en el Pozo Montsacro). Estos ensayos de permeabilidad presentan los mismos problemas que los datos de concentración, ya que están realizados en zonas afectadas por la actividad minera, y aunque para realizar las pruebas se buscan áreas alejadas de la influencia de las explotaciones, los resultados pueden no ser del todo fiables.

La conclusión principal es que resulta necesario abordar la investigación dejando parcialmente de lado los datos obtenidos en el interior de mina, y realizando sondeos de investigación desde el exterior en zonas vírgenes para realizar pruebas de producción y determinar exactamente la cantidad de metano extraíble.

Previamente, se debe planificar las zonas a sondear en función de los datos geológicos y mineros existentes. En relación con esto, merece la pena señalar que la CCCA tiene una serie de peculiaridades que la diferencian de otras cuencas donde se llevan a cabo proyectos CBM. La figura 5 intenta reproducir de una manera esquemática estas diferencias.

En el esquema A (Fig. 5) se muestra una situación altamente favorable para abordar un proyecto CBM. Tenemos en este caso una cuenca con capas de carbón potentes, escasamente tectonizadas y que no fueron explotadas en el pasado. Además, el relieve es muy plano y la superficie presenta una escasa ocupación humana. En el caso de la CCCA, tenemos capas poco potentes estructuradas en *multilayers*, profundamente plegadas y fracturadas, con amplias zonas que fueron explotadas tanto en las laderas como en el fondo de los valles. A esto hay que añadir un terreno con una marcada orografía y con alta ocupación



**Figura 5.** Esquema de dos situaciones geológicas distintas en las que desarrollar proyectos CBM. A) Situación favorable y B) situación menos favorable correspondiente a las características geológicas y geográficas de la CCCA.

humana, generalmente dispersa en las laderas y muy concentrada en los fondos de valle.

Estas características condicionan el enfoque de la investigación. No solamente deben buscarse zonas geológicamente adecuadas (número y potencia de capas de carbón, rango, permeabilidad, concentración, hidrogeología, tectónica, geometría de las capas, etc.), sino que deben tenerse en cuenta otros factores externos, como son la distribución de la población, el relieve y la existencia de minados, los cuales condicionarán también la ubicación del futuro proyecto de explotación. La existencia de labores mineras representa un condicionante de gran impor-

tancia, ya que en la mayor parte de las zonas donde se localizan los paquetes productivos existe un gran desarrollo minero, lo cual, aunque el objetivo del CBM sea llegar a profundidades mayores que las que poseen las labores mineras, la ejecución de sondeos desde superficie ha de evitar traspasar estas zonas.

De la figura 5 también se deduce que el tipo de perforación no será similar a la que se realiza normalmente para proyectos de este tipo en el mundo. En la CCCA hay que plantearse que los pozos pueden tener que atravesar *multilayers* muy verticalizados, lo cual supondrá un reto técnico de adaptación de la tecnología existente a las particularidades de nuestro territorio.

Aunque en muchos lugares se aborda la explotación realizando sondeos *in-seam* (perforaciones dirigidas dentro de la capa de carbón), la escasa potencia de las capas de la CCCA desaconseja esta opción.

### Discusión y conclusiones

La explotación de gas no convencional se ha incrementado enormemente en los últimos años, especialmente en países como EE. UU. y Canadá. Es por tanto de especial interés investigar la viabilidad de desarrollar proyectos similares en países que tienen gran dependencia energética del exterior. De los distintos tipos de gas no convencional, en este artículo hemos tratado el metano asociado al carbón, y se han comentado las diversas actividades llevadas a cabo recientemente por HUNOSA. La investigación de metano en la CCCA no es algo nuevo, ya desde los años 90 del siglo XX se vienen realizando estudios en este territorio y existen numerosas investigaciones llevadas a cabo por distintos organismos y personas que abordan el tema de la viabilidad de la extracción de metano de la CCCA. No obstante, en los últimos años, y debido al fin inminente de la minería de carbón y a la importancia creciente de los hidrocarburos no convencionales, se ha empezado a plantear más seriamente desde HUNOSA la posibilidad de aprovechar el metano contenido en el carbón. Hasta el momento, se han realizado investigaciones para valorar la viabilidad del VAM, CMM y AMM. Estas permiten concluir que tanto el VAM como el CMM podrían resultar interesantes en algunas explotaciones mineras siempre que estas se mantuvieran activas, lo cual no representa el escenario más realista a corto plazo. En el caso del AMM los resultados no fueron positivos. La opción más viable para desarrollar en la CCCA sería, por tanto, el CBM.

Después de más de siglo y medio de minería en la CCCA, existe un gran volumen de datos geológicos de detalle, distribución de labores mineras, características de los carbones (rangos, concentración de metano, potencias de capa, isoterms, etc.) que proporcionan un buen conocimiento previo del macizo. El análisis de esta información ha mostrado que parte de esos datos han de ser tratados con precaución (por ejemplo, las concentraciones de metano subestiman la cantidad real que existe en la sucesión). En este sentido, es más adecuado centrarse en la mitad norte de la CCCA, excluyen-

do en primera instancia los carbones más evolucionados de la parte sur. Además, se deben buscar zonas en principio no minadas y se ha de adaptar el proyecto a las particularidades orográficas y de distribución de la población del territorio. La estructura y estratigrafía de la CCCA se aleja del estándar de proyecto CBM medio existente a nivel mundial, aunque esto no tiene que suponer un inconveniente para el desarrollar este tipo de actividades en el área. Todo lo contrario, incluso puede llegar a constituir un aliciente adicional ya que implicaría adaptar tecnología específica para realizar sondeos CBM en estructuras *multilayer* muy verticalizadas, lo que contribuiría a establecer un *know-how* vinculado a esta problemática.

El reto es, por tanto, continuar con el análisis de información disponible, diseñar campañas para obtener nuevos datos y realizar sondeos de producción para estimar, in situ, la capacidad que tiene el yacimiento para producir metano. Solo mediante estas pruebas se podrá determinar la viabilidad de desarrollar proyectos CBM en la Cuenca Carbonífera Central Asturiana.

### Agradecimientos

Me gustaría agradecer a Hulleras del Norte S.A. S.M.E. (HUNOSA) el permiso para la divulgación de los datos relativos al aprovechamiento del metano de las capas de carbón fruto de trabajos propios y en colaboración con otras entidades.

### Referencias

- AITEMIN (1990): Proyecto de medición de la concentración de grisú en capa en diversas cuencas carboníferas españolas. Asociación de Investigación Tecnológica de Equipos Mineros. Madrid.
- ARAMBURU, C. y BASTIDA, F. (eds.) (1995): Geología de Asturias. Editorial Trea, 314 p.
- ARRI, L. E., YEE, D., MORGAN, W. D. y JEANSONNE, M. W. (1992): Modelling Coalbed Methane Production with Binary Gas sorption. Paper SPE 24363. Presented at the SPE Rocky Mountain Regional Meeting, Casper, Wyoming.

- AYERS, W. B. (2002): Coalbed gas systems, resources, and production and a review of contrasting cases from the San Juan and Powder River basins. *AAPG Bulletin*, 86: 1853-1890.
- BOYER, Ch., STOJIC, T., STOJIC, S. y DELOZIER, D. (2011): Coal Bed Methane Feasibility Study Asturias Permit. Data and Consulting Services – Schlumberger. Informe inédito, 41 p.
- CARBUNIÓN (Federación Nacional de Empresarios de Minas de Carbón) (2013): Memoria anual. Madrid, 138 p.
- CIENFUEGOS, P. y LOREDO, J. (2008): Investigación minera de metano contenido en capas de carbón en Asturias. Sondeo de investigación «Asturias. CBM#1», en J. A. López-Geta, J. Loredó Pérez, L. Fernández Ruiz y J. M. Pernía Llera (eds.), *Investigación y gestión de los recursos del subsuelo*. Libro homenaje al Profesor Fernando Pendás Fernández, 291-308.
- CIENFUEGOS, P. y LOREDO, J. (2010): Coalbed methane resources assessment in Asturias (Spain). *International Journal of Coal Geology*, 83(4), 366-376.
- CLAYTON, J. L. (1998): Geochemistry of coalbed gas – A review. *International Journal of Coal Geology*, 35: 159-173.
- COLMENERO, J. R., SUÁREZ-RUIZ, I., FERNÁNDEZ-SUÁREZ, J., BARBA, P. y LLORENS, T. (2008): Genesis and rank distribution of Upper Carboniferous coal basins in the Cantabrian Mountains, Northern Spain. *International Journal of Coal Geology*, 76: 187-204.
- ENADIMSA (Empresa Nacional Adaro de Investigaciones Mineras, S. A.) (1973): Investigación de Geología Aplicada en la Cuenca Hullera Central Asturiana.
- FERNÁNDEZ FERNÁNDEZ, J. J. (2006): *Posibilidades de aprovechamiento de CBM en la Cuenca Carbonífera Central de Asturias: aplicación a la Unidad de La Justa-Aramil*. Tesis Doctoral. Universidad de Oviedo, 302 p.
- GAMSON, P. D., BEAMISH, B. B. y JOHNSON, D. P. (1993): Coal microstructure and micropermeability and their effects on natural gas recovery. *Fuel*, 72: 87-99.
- GAN, H., NANDI, S. P. y WALKER, P. L., Jr. (1972): Nature of the porosity in American coals. *Fuel*, 51(4): 272-277.
- GUTIÉRREZ CLAVEROL, M., LUQUE CABAL, C. y SÁENZ DE SANTA MARÍA, J. A. (2005): Manifestaciones de hidrocarburos gaseosos en Asturias. *Trabajos de Geología*, 25: 51-67.
- HALL, F. E., ZHOU, C., GASEM, K. A. M., ROBINSON, Jr. y R. L., YEE, D. (1994): Adsorption of Pure methane, Nitrogen and Carbon Dioxide and their Binary Mixtures on Wet Fruitland Coal. Paper SPE 29194. Presented at the SPE Eastern Regional Conference & Exhibition, Charleston, West Virginia.
- IEA (International Energy Agency) (2015): Key world energy statistics. París, 77 p.
- IGME (2003): Estudio de los recursos de metano en capa de carbón (CBM): antecedentes y valoración en la Cuenca Carbonífera Central de Asturias y Cuencas Adyacentes. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas, Universidad de Oviedo, 563 p.
- IPCC (International Panel on Climate Change) (2007): Climate Change 2007. The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the International Panel on Climate Change. Cambridge University Press, 996 p.
- JULIVERT, M. (1967): La ventana del Río Monasterio y la terminación meridional del Manto del Ponga. *Trabajos de Geología*, 1: 59-76.
- JULIVERT, M., FONTBOTÉ, J. M., RIBEIRO, A. y CONDE, L. (1972): Mapa tectónico de la Península Ibérica y Baleares. Instituto Geológico y Minero de España. 113 p.
- KULANDER, B. R. y DEAN, S. L. (1993): Coal-bleat domains and domain boundaries in the Allegheny Plateau of West Virginia. *AAPG Bulletin*, 77: 1374-1388.

- LAMARRE, R. A. (2005): Undersaturation in coals: how does it happen and why is it important. Rocky Mountain Section. AAPG Annual Meeting, Jackson, Wyoming.
- LAMBERSON, M. N. y BUSTIN, R. M. (1993): Coalbed methane characteristics of Gates Formation coals, Northeastern British Columbia: effect of maceral composition. *AAPG Bulletin*, 77: 2062-2076.
- LAUBACH, S. E., TREMAIN, C. M. y AYERS, W. B. Jr. (1991): Coal fracture studies: Guides for coalbed methane exploration and development. *Journal of Coal Quality*, 10: 81-88.
- LAUBACH, S. E., MARRETT, R. A., OLSON, J. E. y SCOTT, A. R. (1998): Characteristics and origins of coal cleat: A review. *International Journal of Coal Geology*, 35: 175-207.
- LOREDO, J., CIENFUEGOS, P., FERNÁNDEZ, J. J. y PENDÁS, F. (2006): Potential for Coalbed Methane Development in the Central Coal Basin of Asturias (Spain). International Coalbed Methane Symposium Tuscaloosa (Alabama, USA).
- LOTZE, F. (1945): Zur Gliderung der Varisziden der Iberischen Meseta. *Geotect. Forsch.*, 8: 78-92.
- MARTINI, A. M., WALTER, L. M., KU, T. C. W., BUDAI, J. M., MCINTOSH, J. C. y SCHOELL, M. (2003): Microbial production and modification of gases in sedimentary basins: A geochemical study from a Devonian shale gas play, Michigan Basin. *AAPG Bulletin*, 87: 1355-1375.
- MARVOR, M. J., OWEN, L. B. y PRATT, T. J. (1990): Measurement and Evaluation of Coal Sorption Isotherm Data. Paper SPE 20728. Presented at the 65<sup>th</sup> Annual Technical Conference and Exhibition of the Society of Petroleum Engineers, New Orleans, Louisiana.
- MCCULLOCH, C. M., DEUL, M. y JERAN, P. W. (1974): Cleats in bituminous coalbeds. Report of Investigation 7910. U.S. Bureau of Mines, 25 p.
- PIEDAD-SÁNCHEZ, N., IZART, A., MARTÍNEZ, L., SUÁREZ-RUIZ, I., ELIE, M. y MENETRIER, C. (2004): Paleothermicity in the Central Asturian Coal Basin, North Spain. *International Journal of Coal Geology*, 58: 205-229.
- RICE, D. D. (1993): Composition and origins of coalbed gas, en *Hidrocarbons from Coal. AAPG Studies in Geology*, 38: 159-184.
- SEDIGAS (Asociación Española del gas) (2013): Informe anual. Madrid, 8 p.
- SEDIGAS (Asociación Española del gas) (2014): Informe anual. Madrid, 43 p.
- SEIDLE, J. (2011): Fundamentals of Coalbed Methane Reservoir Engineering. PennWell, 401 pp.
- SÁENZ DE SANTA MARÍA BENEDET, J. A. (2002): La exploración de C. B. M. en Asturias, en M. A. Zapatero, F. Pendás y J. Loredo (eds.), *Exploración, evaluación y explotación de metano en las capas de carbón*. Publicaciones del IGME, serie Recursos Minerales, 2, 105-144.
- SÁENZ DE SANTA MARÍA BENEDET, J. A. y GUTIÉRREZ CLAVEROL, M. (2013): Valoración de la técnica de fracturación hidráulica y su aplicación a la extracción de gas no convencional en las cuencas carbonífera y jurásica de Asturias. *Trabajos de Geología*, 33: 201-229.
- TREMAIN, C. M., LAUBACH, S. E. y WHITEHEAD, N. H. (1991): Coal fracture (cleat) patterns in Upper Cretaceous Fruitland Formation, San Juan Basin, Colorado and New Mexico: implications for exploration and development. In: S. Schwochow, D. K. Murray y M.F. Fahy, (eds.), *Coalbed methane of Western North America*. Rocky Mountain Association of Geologists, 49-59.
- ZAPATERO, M. A., MARTÍNEZ ORIO, R. y SUÁREZ DÍAZ, I. (2004): Inventario de metano en capa de carbón, CBM-CMM en España. Posibilidades de almacenamiento geológico de CO<sub>2</sub>. Instituto Geológico y Minero de España. Madrid.