

DESARROLLO DEL CBM EN EL MUNDO

Jorge Eliécer Mariño Martínez

6.1 Introducción

A medida que las reservas de petróleo y gas disminuyen, los hidrocarburos no convencionales CBM y *shale gas* se perfilan como complemento y reemplazo del gas natural asociado al petróleo. El carbón se ha utilizado desde hace mucho tiempo y existen registros que indican que antes de Cristo lo utilizaron los ingleses y los chinos, y que los romanos lo emplearon para la fundición de metales y para calentar los sistemas de calefacción. En varias regiones con escasez de leña se ha hallado evidencia de que el carbón se explotó igualmente de manera superficial. Con el tiempo, los antiguos desarrollaron métodos para explotar el carbón a profundidad. Los métodos de cámaras y pilares y de tajo largo permitieron explotar cada vez a mayor profundidad, con el subsecuente aumento del riesgo. Uno de esos riesgos era y sigue siendo el gas metano, un subproducto de la maduración del carbón, que aumenta con el incremento del rango y la profundidad.

El CBM ha sido reconocido en las minas de carbón desde el siglo XVIII. En el año 1733, en Haig Pit, Whitehaven (Gran Bretaña) fue donde por primera vez se pensó en utilizar el gas que provenía de una mina de carbón (Moore, 2004).

En 1844, debido a una explosión en una mina de carbón y después de una investigación, los técnicos determinaron que el responsable de dicha explosión era el gas metano del carbón y sugirieron que para evitar más explosiones y muertes de mineros, se deberían adaptar tuberías que extrajeran el peligroso gas del interior de la mina a

superficie, pero la sugerencia no fue acatada por los ingenieros en la mina por la complejidad del proceso. Esto significa que el metano ha sido reconocido como una amenaza potencial desde el siglo XIX.

En 1900, en los Estados Unidos, se obtuvo por primera vez un pozo para drenar gas desde una mina de carbón hasta superficie. En 1905, en Virginia Occidental, se completó un pozo para la producción de gas de los yacimientos del Manto Pittsburgh, y cuando ya se iba a abandonar dicho pozo, en 1931, se pudo determinar que el manto aún poseía buenas reservas aprovechables de gas, por lo que, en 1949, se construyeron 22 pozos. En la misma localidad de Virginia Occidental, en 1934, se completó un pozo horizontal corto hasta los mantos Pocahontas, pero la tasa de producción de gas era muy baja ante los gastos operacionales.

Entre 1907 y 1961 hubo más de 87.000 muertos en las minas de carbón asociadas con incendios y explosiones. La tragedia en una mina de Virginia, donde murieron 78 mineros, hizo que la Agencia de Minas de Estados Unidos (USBM) empezara una campaña para entender cómo es que el CBM se presenta y se libera en las minas (Moore, 2004).

En 1940, en la población de Mansfield Colliery, Inglaterra, se perforó y se obtuvieron los primeros registros de un pozo vertical destinado a extraer el metano de una mina de carbón a gran escala, con buen éxito. En 1941, Ranney publicó un aspecto importante en la extracción de gas metano derivado del carbón, que consistía en que para iniciar la liberación y el flujo del gas, se debía disminuir la presión sobre los mantos de carbón, ya que el gas se acumulaba en la matriz del carbón por absorción, pero no dio información sobre los equipos de perforación, ni procedimientos. Más tarde, en 1943, Price and Headlee determinaron que las técnicas aplicadas en los pozos petroleros eran ideales para llevarlas a la producción del CBM (Thomas, 2002).

En 1952, en Pennsylvania, se perforó un pozo vertical dotado con una bomba para abatir el nivel freático y liberar el gas. En esta mina fue donde se utilizó por primera vez la estimulación de un pozo

para CBM. Durante la crisis energética de los años 70, la USBM y el Departamento de Energía reconocieron que el CBM no solo era una amenaza, sino también era un recurso energético potencial. En 1977, se inició un proyecto de recobro de metano de mantos de carbón (MRCP) en los Estados Unidos. Para caracterizar y ayudar a la utilización de dicho recurso, las labores de investigación del Instituto de Investigación del Gas (GRI) ayudaron a entender los procesos de desorción y a establecer procedimientos de medición estándares. Estos esfuerzos dieron como resultado el inicio de la producción comercial en varias cuencas (Black Warrior, San Juan, Powder River) de los Estados Unidos. A la fecha, el CBM de tipo comercial tiene un poco más de treinta años de existencia y en Estados Unidos constituye más del 10 % del gas comercializado.

Los riesgos asociados con el gas en el carbón se minimizaron, en parte, con la ventilación o inyección de aire fresco a través de tuberías a los frentes de trabajo, para aportar oxígeno y disminuir las concentraciones de metano. También se están perforando pozos para desgasificar las zonas posteriores a los frentes mineros, a fin de extraer el gas y disminuir el riesgo, una vez que las labores mineras alcancen dichas zonas.

6.2 Reservas de CBM y países productores

Los numerosos accidentes por explosiones de gas forzaron a las compañías y a los gobiernos a desarrollar programas de desgasificación o drenaje del gas mediante perforaciones. Los diferentes sistemas de drenaje pueden remover entre 20 y 70 % del CBM en el manto de carbón. La desgasificación disminuye los costos de ventilación y produce un gas con la calidad suficiente para comercializarlo. Los programas de desgasificación alentaron el estudio de las reservas y en la actualidad se adelantan programas para desgasificar o utilizar el gas en muchos países, especialmente en los principales países productores de carbón donde existen muchas reservas (Tabla 6.1 y Figura 6.1).

Tabla 6.1 Recursos de carbón y gas asociado al carbón (CBM) en el mundo.

PAÍS	RECURSOS DE CARBÓN (109 TON)	RECURSOS DE METANO (TERAS EN PIES ³)
Rusia	6500	600-4000
China	4000	1060-2800
USA	3970	275-650
Canadá	7000	300-4260
Australia	1700	300-500
Alemania	320	100
Reino Unido	190	60
Kazastán	170	40
Polonia	160	100
India	160	30
Sur África	150	40
Ucrania	140	60
Total	24460	2976-12640

Fuente: modificado de Thomas (2002).

La Tabla 6.1 muestra que las mayores reservas de carbón se encuentran en Estados Unidos, Rusia y China (BP, 2013). No es coincidencia entonces que en estos países, especialmente Estados Unidos, Canadá, China y Australia, se estén llevando a cabo los principales proyectos de extracción de metano.

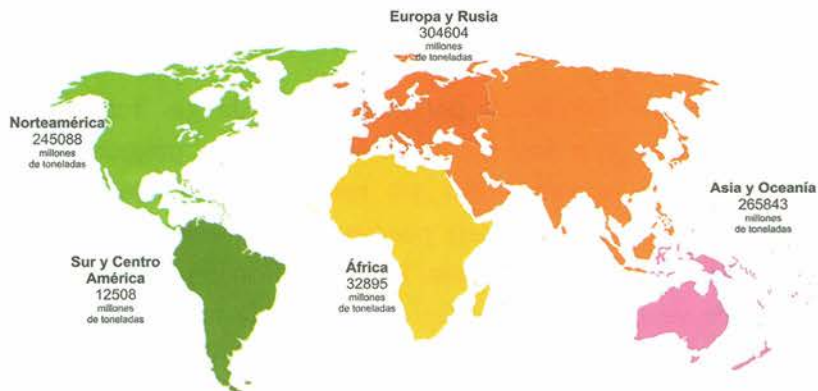


Figura 6.1 Reservas probadas de carbón bituminoso en el mundo.

Fuente: adaptado de BP (2014).

Hasta hace poco tiempo, solo había explotaciones comerciales de CBM en Estados Unidos, gracias a una política de reducción de impuestos que incentivó técnicas de explotación y producción

innovadoras. El sorprendente avance de la explotación de CBM en Estados Unidos se había centrado en las cuencas Foreland de las Montañas Rocosas en el oeste norteamericano y es allí donde se generaron los modelos de exploración y explotación que se utilizan en muchos países. Posteriormente se involucraron otras cuencas, como la de los Apalaches, donde se han obtenido buenos resultados, especialmente en Alabama. En 1999, la producción alcanzó 1,1 teras pies³, y en la actualidad hay más de 8000 pozos produciendo CBM. La Figura 6.2 muestra la distribución del carbón en Estados Unidos, donde se destacan las cuencas con mayores producciones de CBM en las Montañas Rocosas y en los Apalaches, especialmente en los estados de Colorado, Nuevo Méjico, Wayoming y Alabama.

En China también hay grandes reservas de CBM, que se han calculado entre 1000 y 2000 teras pies³. Aunque, en general, las condiciones geológicas en otros países son estructuralmente más complejas que en Estados Unidos, los contenidos están dentro de los rangos encontrados en este país, por lo que se esperarían avances importantes en los próximos años. En Australia, los avances en la exploración han sido significativos, y las reservas se han calculado en más de 300 teras pies³.

Inicialmente, la exploración se centró en carbones bituminosos en los que se asociaba el aumento del contenido de CBM con el aumento de rango; sin embargo, en los últimos años se han encontrado depósitos comerciales en lignitos (Wayoming, EUA) y en antracitas (China) (Zapatero, Pendas & Loredó, 2001). Estos últimos hallazgos demuestran que no solamente se debe tener en cuenta el grado de carbonificación del carbón y los aspectos geológicos, sino también otros aspectos como el origen, la permeabilidad, la hidrogeología, etc. Lo que ha llevado a pensar que cada yacimiento es único y que la extrapolación de reservas a partir de la calidad del carbón, etc., no es recomendable, y que las reservas y el potencial se deben calcular a partir de mediciones directas de CBM, utilizando métodos de desorción convencionales, acompañados con análisis de cromatografía, para determinar el tipo de gases, y con análisis de isothermas de adsorción, para determinar la saturación.

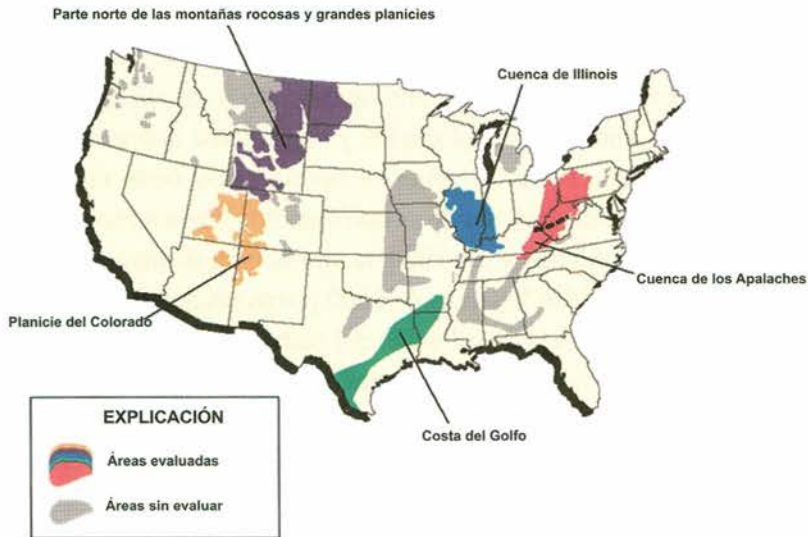


Figura 6.2 Cuencas carboníferas de Estados Unidos. Las áreas de color son las cuencas donde más se ha adelantado exploración para CBM, y, por lo tanto, donde más se explota en la actualidad.

Fuente: Thomas (2002).

A Estados Unidos ya se han sumado otros países y se están adelantando labores de exploración-explotación en naciones como Australia, China y Canadá, donde se tienen buenas reservas de carbón. La Figura 6.3 muestra que más de treinta países ya están haciendo estudios preliminares y proyectos pilotos. La posibilidades a nivel mundial son buenas, teniendo en cuenta que se tienen reservas de carbón significativas en muchos países y que el carbón es el combustible fósil más abundante, con reservas cercanas a 10^{12} ton y una producción anual cercana a los 7860 millones de toneladas, centrada en grandes países como China, Estados Unidos, antigua Unión Soviética; aunque también son grandes productores Indonesia, Polonia, Reino Unido y Colombia (BP, 2014). Los recursos de CBM se calculan en teras m^3 o $pies^3$, a partir de las reservas conocidas del carbón, que están bien identificadas y cuentan con una buena base de datos. La Tabla 6.1 muestra los recursos de metano en teras $pies^3$, en los principales Estados productores de carbón. Las principales reservas están en China con 1060 a 2800 teras $pies^3$, le siguen Rusia, Canadá, Australia y Estados Unidos. El total de los recursos a nivel mundial se ha calculado entre 3000 y 12000 teras $pies^3$.



Figura 6.3 Países y territorios donde se han llevado a cabo actividades exploratorias de CBM.

Fuente: BP (2014)

6.3 Aspectos económicos y legales

Para comienzos de los años 90, los Estados Unidos habían entrado en una etapa de madurez en producción de CBM y tenían miles de pozos en producción, la mayoría de ellos en la cuenca de San Juan en Colorado, Nuevo Méjico (Montañas Rocosas) y con una producción de más del 50 % del total de la producción del país. Esto fue posible gracias a que en los años 80 se introdujo una política de excepción de impuestos (tax credit), que permitió que las compañías recibieran ganancias no solamente por la venta del gas, sino también por la reducción de impuestos, lo que aumentó el número de pozos y mejoró notablemente la tecnología utilizada, de tal forma que para cuando se retiraron los apoyos por impuestos, las mejoras tecnológicas que se habían presentado permitieron que la industria del CBM se mantuviera sin los subsidios y, hay que decirlo, no solamente se mantuvo sino que siguió creciendo.

Al desafío de oportunidad de negocio, se unen aspectos legales por el conflicto que se presenta con las explotaciones de carbón. Y las soluciones se han planteado desde varias perspectivas:

1. El metano de las capas de carbón es carbón.
2. El metano de las capas de carbón es gas.
3. La concesión de carbón tiene prioridad.

-
4. Cada caso se debe estudiar por separado.
 5. Derechos sucesivos de propiedad.
 6. Derechos simultáneos de propiedad.
 7. Propiedad compartida.

Cada país lo ha enfrentado de manera diferente, pero la mayor complicación se ha presentado cuando diferentes entidades del Estado manejan los dos recursos por separado (Zapatero et ál., 2001).

6.4 Proyectos pioneros

Cada cuenca de CBM es diferente y en cada una se deben estudiar juiciosamente las diferentes variables, tales como: tectónica-estructural, estratigráfico-ambientes de depósito, rango del carbón, contenido de gas, permeabilidad e hidrodinámica. Como se mencionó, las cuencas de las Montañas Rocosas en Estados Unidos han liderado el número de perforaciones y la producción, al presentar bajo riesgo y bajo costo de encontrar nuevas reservas. El éxito mencionado se debe a que hay muchos mantos de carbón, a que el espesor de los mantos es considerable y las permeabilidades son buenas. Adicionalmente, los ambientes de depósito son deltaicos de llanura costera y las rocas son cretácico-terciarias. La experiencia desarrollada en esas cuencas ha llevado a concluir que se requieren capas potentes, un buen rango o madurez térmica y un contenido elevado de CBM, además, se debe tener un sistema hidrogeológico favorable y activo con buena recarga. A continuación se mencionan aspectos de las dos cuencas más exitosas en la explotación del CBM en Estados Unidos, la cuenca San Juan y la cuenca Powder River.

Cuenca de San Juan en Colorado, Nuevo Méjico. Esta cuenca es considerada, hasta ahora, como la más productiva del mundo, pues de ella se han obtenido más de $30 \times 10^9 \text{ m}^3$. En las zonas sobrepresurizadas, la producción es mayor y ha llegado a más de $600 \times 10^6 \text{ m}^3$ por día. En estas zonas, los factores favorables (espesor, rango, profundidad e hidrodinámica) se encuentran trabajando concordantemente. En dicha cuenca el contenido de gas es directamente proporcional a la sobrepresurización, o zonas donde la presión hidrostática es mayor a la normal, llegando a ser de $16 \text{ m}^3/\text{ton}$ ($560 \text{ pies}^3/\text{ton}$), donde debería

tener, por rango del carbón, entre 5 y 11 m³/ton (175-400 pies³/ton). Esto se explica no solamente por el rango de los carbones, sino también por la generación de gas biogénico generado por la recarga (determinado con isotopos), y también por gas termogénico migrado de mayores profundidades. La combinación de factores geológicos e hidrogeológicos se armonizó para generar altas concentraciones de CBM y presentar altos contenidos en las zonas de flexión (eje del sinclinal) o donde se presentan barreras al flujo y se producen flujos ascendentes (véase Figura 6.4).

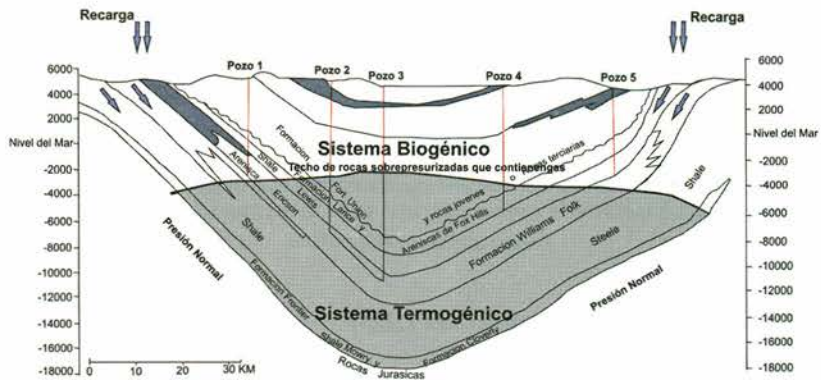


Figura 6.4 Cuenca de San Juan (EUA), donde se ha demostrado la concentración del CBM por recarga hidrogeológica a gran escala (ver flechas) sobre los flancos de la estructura sinclinal.

Fuente: adaptado de Moore (2004).

Cuenca Powder River en Wyoming. Esta cuenca es otro proyecto pionero, donde inicialmente se pensó que el potencial de CBM era bajo, por tratarse de carbones de bajo rango entre lignitos a subbituminosos. Sin embargo se encontraron valores altos, lo que se explica por el alto contenido de gas biogénico, debido a la reducción bacteriana de CO₂. Las bacterias producen el metano como un subproducto de su metabolismo. La influencia de las bacterias metanogénicas en los lignitos se favorece porque son carbones muy porosos, y algunos, junto con las rocas adyacentes, se han convertido en *clinker* por incendios, creando condiciones ideales para la recarga de agua y el acceso de las bacterias.

Otro aspecto importante de este depósito es que las areniscas adyacentes a los carbones y que por condiciones deposicionales dividieron o pincharon los carbones, tienen buen contenido de gas

(que ha migrado del carbón) y, por lo tanto, se presentan como un reservorio convencional de gas, adicional a los carbones (Figura 6.5).

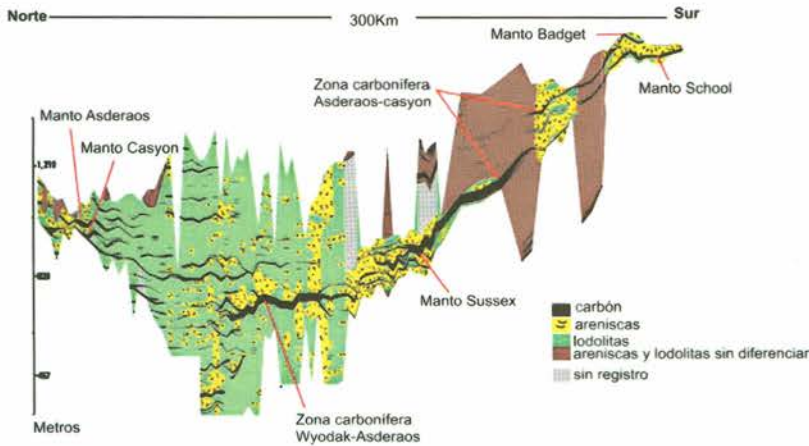


Figura 6.5 Un corte N-S de la cuenca Powder River muestra la intercalación del carbón con las areniscas de origen fluvial, lo que favoreció la posterior migración del gas de los carbones hacia las areniscas.

Fuente: adaptado de Flórez (2004).

6.5 Desafíos en el desarrollo del CBM

Además de los aspectos económicos y técnicos mencionados, algunos de los mayores desafíos del CBM son los aspectos ambientales relacionados con la producción abundante de agua para disminuir la presión y permitir que el CBM fluya, puesto que dicha agua debe ser posteriormente descontaminada y dispuesta, lo que puede ser una limitación para las perforaciones.

Otro aspecto que representa un desafío es la comparación de contenidos y mediciones de CBM en diferentes partes del mundo, pues, a menos que se haya seguido estrictamente la metodología del USBM-GRI, y los contenidos de CBM se hayan estandarizado por presión y temperatura (STP), se debe desconfiar de los resultados, debido a que se presentan muchos problemas asociados a la medición del contenido de gas. Esos desafíos son: errores en la toma de la muestra, calidad de la medición, escapes del cánister, errores en la determinación del gas perdido y del gas residual, problemas durante el transporte, falta de corrección por STP, errores en el peso de la muestra, entrada de aire y con esto, el inicio de reacciones biológicas y químicas.

Un gran desafío adicional que se ha encontrado, es que el fracturamiento de los mantos de carbón es necesario, porque en la mayoría de los pozos el gas no va a fluir por sí solo. Por lo tanto, se requiere incrementar la permeabilidad a través del fracturamiento del carbón. De la efectividad del fracturamiento depende el éxito de muchos proyectos. En el capítulo sobre producción y desarrollo se ilustra más sobre el fracturamiento.

La infraestructura, que incluye carreteras, electricidad, gaseoductos etc., es muy importante en la viabilidad económica de un proyecto. Por ejemplo, la falta de líneas de conducción adecuada del gas, es uno de los grandes desafíos en las nuevas áreas para CBM, puesto que si no existe la infraestructura de gaseoductos, el costo de implementarla puede hacer que el proyecto no sea rentable.

6.6 El CBM como parte de un sistema petrolero total (TPS)

En la actualidad, un recurso energético en una cuenca no se estudia de manera aislada sino como parte de todo un sistema conocido como **sistema petrolero total (TPS)**. Los hidrocarburos en una cuenca se deben estudiar conjuntamente, porque su origen puede estar relacionado y la explotación de uno de ellos puede afectar a los otros hidrocarburos presentes. El CBM se considera una **acumulación continua de gas** como el *shale gas* y se diferencia de las trampas de gas y petróleo convencional, donde el recurso no está localizado a lo largo y ancho de toda la capa, sino en ciertas trampas convencionales estructurales y estratigráficas (Figura 6.6). En la mayoría de los casos se asume que los depósitos de carbón-CBM están por encima de los depósitos de petróleo-gas.

El CBM se puede juzgar como parte de un sistema petrolero, en el que se deben estudiar y considerar todos los eventos de un sistema petrolero total (TPS). El diagrama de eventos de un TPS considera desde la formación de los carbones (roca fuente y reservorio), pasando por la formación de la roca sello, hasta los procesos y momentos que dieron lugar a la generación, movimiento, escape y acumulación del gas (Figura 6.7).

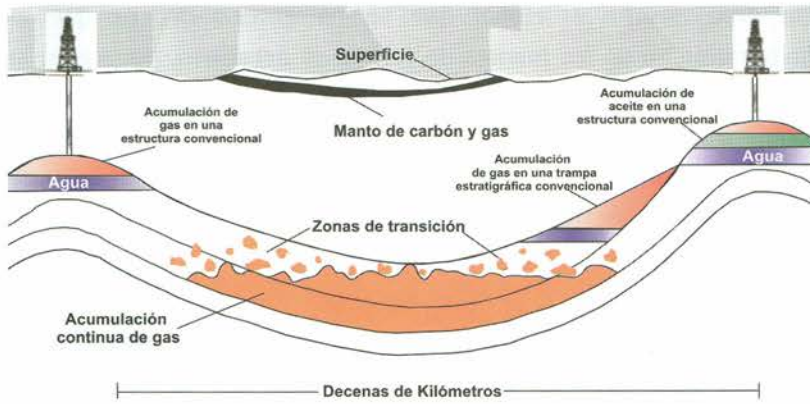


Figura 6.6 El gas asociado al carbón en una cuenca está asociado a otros hidrocarburos más localizados como el petróleo (colores azul-verde-rojo). El gas del carbón pertenece a yacimientos conocidos como acumulación continua de gases que generalmente saturan toda la capa o estrato(s) (colores naranja y negro).

Fuente: adaptado de Flórez (2004).

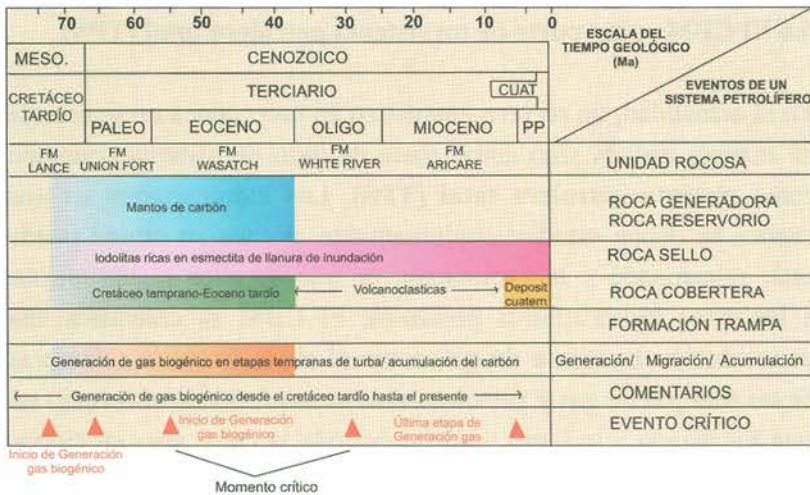


Figura 6.7 Diagrama de eventos que muestran a lo largo del tiempo la formación del carbón, la formación del gas y el entrapamiento del mismo en la Formación Fort Unión en la Cuenca Powder River (Wyoming, USA)

Fuente: adaptado de Flórez (2004).

El CBM es un hidrocarburo no convencional que está tomando cada vez más importancia en el mundo por su abundancia, especialmente en países que no cuentan con yacimientos de petróleo, y por los costos de los hidrocarburos convencionales. En algunos casos se están calculando reservas de manera indirecta a partir de la calidad y profundidad del carbón y según las reservas de carbón existentes.

En otros países se ha ido más lejos y los estudios de exploración han estado acompañados de perforaciones, de estudios de desorción para medir el contenido directo de gas, de ensayos de cromatografía para determinar el tipo de gas y de ensayos de isoterma para determinar la saturación. Igualmente, ya hay varios países que han pasado las etapas anteriores y se encuentran produciendo CBM y aprendiendo de sus condiciones particulares.