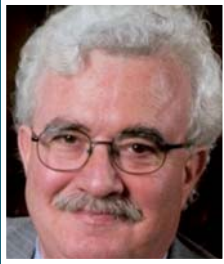


EL ALMACENAMIENTO SUBTERRÁNEO
DE CO₂ E HIDROCARBUROS EN ZONAS
“OFF SHORE” Y “ON SHORE”.
CREACIÓN DE UN LABORATORIO
PETROFÍSICO DE REFERENCIA

Por: Carlos Martínez, Valentín Álvarez Cortina,
Laura Valle, Álvaro Muñoz y Florencio Castillo

Coordinador: D. Alfonso Maldonado Zamora

Dr. Ingeniero de Minas



D. Alfonso Maldonado Zamora

*Dr. Ingeniero de Minas
Presidente de la Fundación Gómez Pardo*

Ingeniero por la Escuela de Minas de Madrid (1973) y Doctor Ingeniero desde (1977). Catedrático de Geofísica Aplicada desde 1987 en la misma Escuela. Es así mismo el Presidente Ejecutivo fundador de la Fundación Instituto Petrofísico con el Instituto Francés del Petróleo, Enagas y Gas Natural y Director Gerente de la Fundación Gómez-Pardo.

Ostenta igualmente los cargos de Secretario Académico de la Fundación García Sineriz, Presidente de Ige-Minas, pertenece al Consejo Asesor del Instituto Superior Politécnico de Oporto, al Comité Científico Editorial del Instituto Geológico y Minero de España, etc.

De su biografía merecen destacarse los puestos de Director del Departamento de Ingeniería Geológica de la UPM (1996-1999), de la Escuela de Minas de Madrid (1999-2008), Presidente de la Reunión de Escuelas de Minas de España, Presidente de los Congresos Internacionales de Frag-Blast, Rocas Industriales, Presidente de la Sección de Geofísica Aplicada de la Comisión Nacional de Geodesia y Geofísica, Consejero del Instituto Francés del Petróleo, etc.

Al mismo tiempo es necesario decir que ha sido Director de cinco Tesis Doctorales y señalar además su apuesta y su preocupación por los temas sociales y culturales, como la creación del Proyecto Guinea Ecuatorial, Cátedra Empresa de Ética y Valores en la Ingeniería y fundador de una Galería de Arte como proyecto cultural para la formación humanista de los ingenieros.

8 • EL ALMACENAMIENTO SUBTERRÁNEO DE CO₂ E HIDROCARBUROS EN ZONAS “OFF SHORE” Y “ON SHORE”. CREACIÓN DE UN LABORATORIO PETROFÍSICO DE REFERENCIA

**Por: Carlos Martínez, Valentín Álvarez Cortina,
Laura Valle, Álvaro Muñoz y Florencio Castillo**

Coordinador: D. Alfonso Maldonado Zamora

Dr. Ingeniero de Minas

El cambio climático se constituye como un reto globalizado, es un problema complejo, y en gran medida es consecuencia de nuestro actual modo de desarrollo, de nuestro modelo de sociedad y de nuestro consumo energético.

Las fuentes de los gases de efecto invernadero, causa del cambio climático, son múltiples: el uso continuado de combustibles fósiles para la generación de energía, el transporte, los procesos industriales, la agricultura, el turismo y la vivienda.

Estas emisiones han sido especialmente intensas a partir de la revolución industrial y, aunque todos los países han ido aumentando sus ambiciones para controlar las emisiones, es necesario un esfuerzo mayor para reducir las emisiones anuales mundiales hasta los 44.000 millones de toneladas equivalentes de CO₂ para 2020 y situar al mundo en el camino de la responsabilidad. Si se establecen unos objetivos ambiciosos de reducción de emisiones en todo el mundo, se financian y se cumplen, estaremos sólo a unos pocos miles de millones de toneladas de donde tenemos que estar.

Es tanto el impacto de este cambio de mentalidad que incluso desde la administración estadounidense (con la figura de Barack Obama como abanderado) se está apostando fuertemente por ello, modificando y creando leyes que ayuden a regular y acelerar actividades relacionadas con la reducción de emisiones y mejora en la eficiencia energética.

Mediante la innovación y la inversión en nuevas tecnologías más ecológicas y eficientes en las dos o tres próximas décadas, la transición a esa economía de bajas emisiones puede ser el período de crecimiento más dinámico de toda la historia económica. Y el mundo de bajas emisiones

que podemos crear será además más tranquilo, más limpio, con más seguridad energética y más diversidad biológica.

En España, se hace necesario reducir entre un 50 y un 85% las emisiones de CO₂ equivalentes en el año 2050 respecto al año 2000, pasando de 50.000 toneladas a menos de 20.000 toneladas de CO₂. Como medida para cooperar a esta reducción de emisión, se plantea el desarrollo de la ya naciente tecnología de captura y almacenamiento de CO₂.

Con esta tecnología, de aquí a 2020 podrían almacenarse 7 millones de toneladas de CO₂ y hasta 160 millones de toneladas en 2030. Si se logra una reducción del 20% de las emisiones de efecto invernadero de aquí a 2020 y si esta tecnología de almacenamiento obtiene los apoyos necesarios y es lo segura que se espera, las emisiones de CO₂ que se evitarían en 2030 podrían representar el 15% de las reducciones exigidas por la Unión Europea.

Los inicios de la actividad de análisis de formaciones geológicas capaces de almacenar CO₂, se sitúan en 2003. La Fundación para los Estudios de la Energía identificó en 2008 diez zonas geológicas en el subsuelo español fundamentalmente “on shore” pero algunas “off shore” que podrían albergar emplazamientos específicos para el almacenamiento de CO₂. Dichas zonas se han convertido en Reservas Provisionales del Estado y han sido publicadas en el BOE con fecha 8 de febrero de 2008 y 3 de abril de 2008.



Reservas Provisionales del estado

Los tipos de lugares geológicos que se consideran aptos para llevar a cabo la inyección y confinamiento del CO₂ son las formaciones permeables profundas, los yacimientos de hidrocarburos agotados o en vías de agotamiento, los diapiros salinos y las cavidades producidas artificialmente en éstos. Estas trampas han de ser capaces de albergar grandes cantidades de CO₂ durante largos períodos de tiempo y a un coste razonable.

LA CREACIÓN DE FUNDACIÓN INSTITUTO PETROFÍSICO

La Fundación Instituto Petrofísico nace en Septiembre de 2008, como una entidad privada sin ánimo de lucro, con el objetivo principal de crear el primer Laboratorio Petrofísico de España competitivo a escala Internacional. La Fundación tiene actualmente como Patronos a la Fundación Gómez Pardo, al Instituto Francés del Petróleo (IFP), a Enagás y a Gas Natural.

Su gestación tuvo lugar después de un periodo de acercamiento (2004-2008) entre la Escuela de Minas de Madrid, a través de la Fundación Gómez Pardo de esta misma Escuela, y el IFP, de forma tal que, aprovechando las buenas relaciones históricas entre dichas instituciones, la nueva Fundación pudiera apoyarse en el gran conocimiento y prestigio internacional del IFP en el campo de la petrofísica y de la ingeniería de yacimientos, tanto en la prestación de servicios de alto nivel tecnológico, como en la investigación y en la formación técnica especializada.

La idea de crear este laboratorio surgió como respuesta a la necesidad de prestar servicios petrofísicos de alta calidad a una cartera creciente de clientes españoles del sector energético y del sector de los materiales para la construcción y también, en menor medida, del sector de obra civil, acuciados los primeros por la necesidad de cumplir los compromisos fijados en el protocolo de Kyoto sobre las limitaciones en las emisiones de CO₂ por un lado y por la obligación de asegurar el aprovisionamiento de gas natural al mercado español en caso de emergencia por otro. El hecho de que en España, hoy día, no se cuente con un laboratorio petrofísico capaz de cumplir, adecuadamente, con las necesidades demandadas por las actividades señaladas anteriormente, se debe a que históricamente este tipo de laboratorios, altamente especializados, se han iniciado y crecido al calor de la industria petrolera y, en España, hasta hace relativamente poco tiempo, no ha habido una industria petrolera con suficiente desarrollo para precisarlo. No es éste el escenario en el momento actual donde además de existir grandes compañías con actividad importante en la exploración-producción petrolera y del gas natural, es preciso resolver el problema de la reducción drástica de la emisiones de CO₂, lo que indica que es el momento adecuado para la creación de un laboratorio petrofísico competitiva a escala in-

ternacional que cubra todos los campos anteriores y llene así una laguna histórica. A la par se crea un centro de investigación de alta cualificación, donde desarrollar una actividad investigadora y de innovación acorde con las exigencias del siglo XXI.

El Instituto Petrofísico (IPF) está constituido por la Fundación Gómez Pardo (FGP), el Instituto Francés del Petróleo (IFP), Gas Natural y Enagás, estando abierto a la entrada de nuevos socios o patronos interesados en participar conjuntamente en este proyecto.

El IPF desarrolla acciones destinadas a conocer las posibilidades de almacenar geológicamente el CO₂ emitido por las industrias en España, mediante la localización y selección de las formaciones más favorables y su caracterización.

Entre Junio y Julio de 2009 solicita a la Dirección General de Política Energética y Minas del Ministerio de Industria, Turismo y Comercio el Permiso de Investigación para seis de las diez Reservas Provisionales de Estado definidas en el BOE de febrero y abril de 2008.

La declaración de la Zona de Reserva del Estado y la concesión del permiso de investigación conllevan la ulterior existencia de dos fases diferenciadas; una fase de investigación y una fase de explotación. En la actualidad IPF realiza tareas de caracterización petrofísica en dos de las seis Reservas Provisionales para las que se ha pedido el Permiso de Investigación. Para ello, elabora un plan de labores que completa la fase de estudio e investigación necesaria, previa a la explotación de esas Zonas como lugares de almacenamiento de dióxido de carbono, así como su coste correspondiente.

Entre las labores precisas para el estudio de las formaciones se encuentran, la recopilación y revisión de la información geológica y geofísica existente, el estudio de la hidrogeología de la cuenca y el reprocesado de la sísmica, realizada con anterioridad, mediante técnicas actuales y su posterior interpretación.

El modelo geológico se hace necesario para estimar la geometría y volumen del cuerpo del almacén, su volumen mínimo, probable y máximo en millones de toneladas de CO₂ así como la capacidad mínima, probable y máxima de retención del sello de la trampa.

EL LABORATORIO PETROFÍSICO

IPF dispone del primer laboratorio petrofísico español competitivo a escala internacional y en un centro de alta cualificación, donde desarrollar una actividad I+D+i acorde con las exigencias industriales del siglo XXI. Está ubicado en el Centro Tecnológico de Getafe (Tecogetafe).

Para la caracterización de los emplazamientos susceptibles de ser almacenamientos de CO₂ se llevan a cabo una serie de ensayos en el laboratorio. Estos ensayos se realizan en las formaciones almacén y sello. En cada una de las zonas suelen existir sondeos ya realizados de los que se obtienen testigos. Si no existen esos sondeos, se obtienen testigos de los afloramientos de análogos.

En líneas generales, los ensayos consisten en cálculos de porosidad, combinando las medidas de analizadores de densidades reales y aparentes o mediante la técnica de intrusión de mercurio o la resonancia magnética nuclear.

La permeabilidad se calcula en condiciones ambiente, absoluta de un líquido o relativa de líquido-líquido o gas-líquido ambas medidas en montajes especiales (permeámetro) o mediante simulación numérica. Las curvas de presión capilar se obtienen en condiciones ambiente mediante centrifugadora y se superan los 100 MPa y los 150 °C en los ensayos geomecánicos para simular las condiciones de yacimiento y la rotura de los materiales del almacén y sello en dichas condiciones.

ACTIVIDAD QUE REALIZA IPF

La actividad de IPF se centra no sólo en la caracterización de las formaciones geológicas susceptibles de constituir futuros almacenes de CO₂, sino también en la realización de trabajos de I+D y presta servicios de alta especialización en los campos de:

- La Exploración-Producción de los yacimientos de hidrocarburos mediante la determinación de propiedades petrofísicas del medio y simulación numérica.
- Los nuevos materiales industriales y los materiales para la industria de la construcción, con capacidad para la determinación de propiedades físicas y petrofísicas, y
- La transferencia tecnológica, la formación y divulgación.

Con especial dedicación a:

- a) La captura y almacenamiento del CO₂ en formaciones geológicas, técnicas que serán de gran importancia en la estrategia de mitigar los efectos de la acumulación de CO₂ en la atmósfera para alcanzar los compromisos de Kyoto.
- b) La exploración-producción Petrolera y Gasista, perfectamente representada hoy en España por compañías multinacionales.

- c) El almacenamiento geológico del gas natural con el objetivo de encontrar en nuestro país formaciones geológicas estratégicas que permitan asegurar el abastecimiento del mercado en situaciones excepcionales.
- d) La fabricación de materiales de construcción, sirviendo de soporte tecnológico de la pequeña y mediana empresa en el campo petrológico y petrofísico.
- e) Participación en proyectos de I+D relacionados con todos los temas anteriores.
- f) Formación de expertos en petrofísica relacionada con los yacimientos de hidrocarburos, almacenamiento de CO₂, la mecánica de rocas en condiciones de yacimiento y simulación de yacimientos y almacenes.
- g) Divulgación de los conocimientos mediante la transferencia tecnológica, la formación de postgrado, las tesis doctorales y las publicaciones, y todo ello aprovechando la íntima relación con la Escuela de Minas de la UPM.

Para llevar a cabo estas prestaciones, el Instituto Petrofísico cuenta con una superficie de 700 m² en el Centro Tecnológico Tierra, Energía y Materiales (CETeyMA) de la Escuela de Minas, concretamente dentro del Centro de investigación Gómez Pardo, situado en la sede de Getafe del Parque Científico y Tecnológico de la UPM. El Laboratorio Petrofísico agrupa las siguientes secciones de trabajo:

1. C.A.L. (análisis rutinarios de testigos)
2. S.C.A.L. (análisis especiales de testigos)
3. PVT's
4. Presión capilar
5. Inyección de gas
6. Flujos de reactivos
7. Mecánica de rocas
8. Simulación e Interpretación

con la capacidad necesaria para realizar la determinación de:

- Las características petrofísicas de las rocas que permitan determinar su homogeneidad, mineralogía, porosidad y permeabilidad, tanto en condiciones ambientales como de yacimiento, factor de formación e inyectabilidad.
- Las características de los fluidos como la densidad, composición, presión de saturación, viscosidad, rho, mínima presión de miscibilidad (MMP), tensión interfacial (IFT) gas-líquido y líquido-líquido y

equilibrio entre fases gas, crudo y agua. Se analizan los movimientos de los fluidos y la medida de GOR y análisis de la muestra. Se realizan también estudios a masa constante y a volumen constante, estudios de hinchamiento y de precipitación de asfaltenos.

- Presiones, tales como la presión capilar en condiciones ambientales y de yacimiento estableciendo sus curvas de variación. También se determinará la presión de desplazamiento.
- Índice de resistividad de las muestras.
- Histéresis y eficacia del barrido.
- Inyección de gas y de agua (WAG) en los almacenes y simulación del proceso.
- Flujos reactivos, con inyección de CO₂ y agua, estableciendo las características de procesos antes y después de la inyección y calibración de los efluentes, estableciendo la modelización y simulación del proceso.
- Análisis de PVT.
- Simulación de yacimientos mediante modelos creados por software, FIRST PUMA-FLOW, ECLIPSE, COORES (equilibrios reactivos), así como los paquetes SENDRA y CYDAR para adquisición y tratamiento de datos.

El cálculo de la capacidad de almacenamiento determinada mediante los ensayos de laboratorio y el modelo geológico, debe ser completado con aspectos de seguridad y socioeconómicos que permitan determinar si una formación es adecuada para su posterior utilización como almacenamiento.

IPf apuesta por la seguridad de los almacenamientos y realizará la monitorización de los emplazamientos según los requisitos que se contemplan en la Directiva Europea 2009/31/CE cuya transposición está actualmente en estudio.

La metodología utilizada en simulación de yacimientos de hidrocarburos es válida también para el caso de los almacenes de dióxido de carbono, desarrollándose en dos etapas principalmente: modelización estática y caracterización dinámica.

En la primera se definen las características físicas del volumen de roca pero no se tiene en cuenta la transferencia de fluidos o gases a través del yacimiento, modelando sólo la geometría de la estructura geológica utilizando para ello información estratigráfica, tectónica, geológico-estructural, redes de fracturas, de registros de pozos, petrofísica e incluso geoestadística.

Durante la segunda etapa de trabajo se analiza la interacción de los fluidos dentro de dicho volumen rocoso para poder comprender con una visión tridimensional como se desplazan los fluidos o gases inyectados. Por eso se deberán tener en cuenta la termodinámica de los fluidos, las curvas de permeabilidad relativa, las presiones capilares, las pruebas de inyección-producción, etc.

No obstante, hay una ley no escrita en simulación que dice que, a mayor volumen de información tengamos sobre las propiedades y características de las rocas y fluidos que intervienen en el proceso, mejores modelos obtendremos y por tanto las simulaciones se irán ajustando cada vez más y tendrán una mayor exactitud con respecto a lo que ocurre en el subsuelo.

A parte de los medios analíticos y de simulación previstos, actualmente en fase de instalación, el Instituto cuenta con un grupo de 5 titulados superiores que han recibido formación especializada en petrofísica y simulación de yacimientos en la sede de Paris del Instituto Francés del Petróleo (IFP). El Instituto cuenta además con la colaboración de especialistas relacionados con la petrofísica y el petróleo, procedentes de la Escuela de Minas de la UPM y de su Fundación GómezPardo.

En resumen podemos decir que el IPF es una de las apuestas más importantes que la colaboración Universidad-Empresa ha puesto en marcha en estos dos últimos años dentro de la U.P.M.

BIBLIOGRAFÍA

1. Intervención del secretario de Estado de Investigación y Presidente del Instituto Geológico y Minero de España (Martínez Alonso). Diario de Sesiones de la Cortes Generales. Comisión Mixta. Año 209 Número 69. 23 de Junio de 2009.
2. Conferencia de Nicholas Stern: “Nuestro futuro se decide en Copenhague. ¿Estará el mundo a la altura del reto que nos plantea el cambio climático?”.
<http://www.actoncopenhagen.decc.gov.uk/en/global-action1/europe/spain/espanol/copenhagen-stern>