

INFORME DEL PANEL CIENTÍFICO INDEPENDIENTE SOBRE PRUEBAS PILOTO DE GASIFICACIÓN SUBTERRÁNEA DEL CARBÓN

Panel Científico Independiente (ISP) para la gasificación subterránea del carbón en Queensland, Australia.

Profesor Chris Moran, director del Sustainable Minerals Institute, The University of Queensland.

Profesor Joe da Costa, School of Chemical Engineering, The University of Queensland.

Profesor emérito Chris Cuff, C&R Consulting, Townsville Queensland.

Queensland, junio del 2013

Título original: ***Independent Scientific Panel report on Underground Coal Gasification Pilot Trials. June 2013 - Queensland Independent Scientific Panel for Underground Coal Gasification (ISP)***

La versión digital estuvo disponible originalmente en:

<http://mines.industry.qld.gov.au/mining/underground-coal-gasification.htm>,

actualmente se la puede consultar en:

<https://es.scribd.com/document/289654813/ispreport>.

Traducción a cargo de **Nancy Viviana Piñeiro** y **Laura Beratti**.

Consultoría técnica: **Roberto Ochandío**.

La traducción de este informe tiene como fin poner a disposición de la comunidad hispanoparlante, de forma libre y gratuita, información sobre la técnica de gasificación subterránea de carbón (GSC/UCG). Esto se enmarca en el proyecto *Energías Extremas en América Latina* del Observatorio Petrolero Sur (OPSur), que cuenta con financiamiento de la Fundación Heinrich Böll – Oficina Cono Sur. Para información se puede consultar la página www.opsur.org.ar o escribir a contacto@opsur.org.ar.

Agradecimientos

El Panel Científico Independiente (ISP, por su sigla en inglés) ha trabajado a tiempo parcial para asesorar al Gobierno sobre las pruebas piloto de gasificación subterránea del carbón (UCG) que se están llevando a cabo en Queensland. El Panel ha trabajado con una serie de departamentos gubernamentales y con las dos compañías, Linc Energy y Carbon Energy, para evaluar los datos e informes que estas han presentado y diseñar un proceso para informar los resultados esenciales de las investigaciones sin violar su confidencialidad.

Los miembros del ISP quisieran expresar su agradecimiento a los funcionarios públicos que colaboraron en distintas etapas del proceso. También al personal de Carbon Energy y Linc Energy que respondieron positivamente. En distintas ocasiones, el ISP, funcionarios del Gobierno y miembros de las compañías han tenido que enfrentar un contexto externo cambiante, por ejemplo, evaluación ambiental, cambio de personal en el Gobierno y las compañías y una elección en el estado de Queensland.

Los informes de Linc Energy y Carbon Energy se encuentran entre las más exhaustivas compilaciones de información sobre pruebas piloto de UCG a la fecha. Estos incorporan una gran cantidad de información y lecciones útiles. Es imposible hacer justicia a la cantidad de información técnica presentada por ambas compañías en un conjunto resumido de recomendaciones. Sin dudas, con el tiempo, estas considerarán apropiado poner a disposición del dominio público al menos parte de la información técnica para que otros puedan realizar sus propias evaluaciones de los méritos y riesgos de la gasificación subterránea del carbón.

Inicialmente, el ISP informó al Gobierno de manera confidencial en noviembre de 2012. El Gobierno evaluó el informe, consultó a las dos compañías involucradas y concluyó que debía iniciarse un proceso de análisis. Se adjuntan a este informe los términos de referencia para dicho análisis. El Director científico de Queensland convocó a un panel de evaluación compuesto por el Dr. Steve Ward (Departamento de Recursos Naturales y Minas), el profesor adjunto Paul Greenfield y el doctor y profesor adjunto Geoff Garrett (como presidente del Panel). De conformidad con los términos de referencia, el director científico también evaluó el asesoramiento y los aportes calificados del profesor adjunto Robin Batterham, que anteriormente había brindado asesoramiento científico independiente a Carbon Energy y Linc Energy. El grupo fue convocado en junio de 2013, con el presidente del ISP, el profesor Chris Moran y un representante técnico de cada compañía, para trabajar en pos del punto 7 de los términos de referencia. Luego del posterior periodo de consulta con el ISP, este documento es el resultado del proceso de revisión.

Resumen Ejecutivo

La gasificación subterránea del carbón (UCG) es una tecnología que se ha venido utilizando de distintas formas hace varias décadas. Posiblemente sea Queensland el sitio que lleva la delantera en el desarrollo y la puesta a prueba de esta tecnología. El Gobierno de Queensland necesita llegar a una conclusión respecto de la UCG en el contexto de su política energética general en el mediano y largo plazo. Una gran cantidad de carbón que es inaccesible para su extracción económica (demasiado profundo o de calidad reducida), y del que en un tiempo se habrá extraído gas de veta de carbón, podría transformarse en el futuro en una fuente de syngas.

El Gobierno de Queensland aprobó las pruebas piloto de UCG por un periodo determinado de años con el objetivo de realizar sus propias evaluaciones de la actividad. El Panel Científico Independiente se creó para asistirlo en dicha tarea. Las principales funciones del panel fueron aplicar los conocimientos expertos individuales y colectivos para analizar, determinar y evaluar varios factores técnicos y ambientales e informar los resultados de las actividades de prueba, además de elaborar recomendaciones sobre las posibilidades y gestión futura de la UCG en Queensland.

Las dos compañías que han presentado informes sobre pruebas piloto y que son objeto de esta evaluación son Carbon Energy y Linc Energy. Ambas han desarrollado versiones de la tecnología CRIP (punto de inyección retráctil controlado). El proceso de información se diseñó combinando el ciclo de vida operativo (selección del sitio -> *commissioning* -> operación -> desmantelamiento -> rehabilitación) y un enfoque convencional de determinación de riesgos para la industria de procesos. Ambas compañías han utilizado sus extensas bases de datos técnicas, elaboradas a partir de las experiencias con una cantidad de gasificadores que emplean tecnologías en constante desarrollo. La integración de información técnica al proceso de determinación de riesgos es un desafío importante.

Las compañías han demostrado capacidad para poner en servicio y operar un gasificador. Aún ninguna ha demostrado que el método de desmantelamiento propuesto, es decir, la autolimpieza, sea eficaz. El ISP sigue contemplando la posibilidad de que el concepto sea viable. Sin embargo, aún no está disponible la información científica y técnica necesaria, sobre todo la relativa al desmantelamiento, para poder llegar a una conclusión final. Se ha avanzado considerablemente pero resta mucho por hacer. Por ejemplo, ninguna de las compañías ha logrado tener acceso a una cavidad gasificada para tomar muestras y brindar información sobre los contenidos actuales y las condiciones de los materiales circundantes.

Para mediados de 2012, ninguna de las compañías había completado una quema de duración suficiente que genere una cavidad final de las dimensiones que se esperan en un proceso comercial. Hasta que esto no se realice, es difícil llegar a una conclusión definitiva sobre la tecnología de UCG. Dada la situación, el ISP cree que sería anticipado contemplar la escala comercial. No obstante, teniendo en cuenta la importante inversión que han hecho las compañías y el Gobierno de Queensland hasta la fecha, y la incuestionable importancia de la UCG como fuente de energía viable de relevancia global, el ISP considera que debería permitirse que los gasificadores en operación sigan activos hasta que se genere una cavidad de dimensiones significativas para realizar una demostración completa y exhaustiva. En ese momento sería posible contemplar el paso a la escala comercial. Queda más trabajo por hacer en cuanto al diseño y la seguridad ambiental y operativa de las actividades multipanel.

Sobre la base de los informes presentados, el ISP ha elaborado tres recomendaciones generales y ocho (8) específicas. Las últimas hacen referencia a cada una de las etapas del ciclo de vida (5), la interacción entre CSG y UCG (1), la gobernanza (1) y el tema de las operaciones comerciales multipanel (1).

Tras haber evaluado los materiales puestos a disposición del ISP por parte de las compañías y otros del dominio público, este ha llegado a las siguientes conclusiones globales.

- *En principio*, la gasificación subterránea del carbón podría llevarse a cabo de manera socialmente aceptable y ambientalmente segura cuando se la compara con un amplio abanico de otras actividades existentes que utilizan recursos.
- El ISP considera que para poder llevar a cabo operaciones comerciales de UCG en Queensland primero debe demostrarse el proceso de desmantelamiento y luego es necesario desarrollar un diseño aceptable para ese tipo de operaciones, dentro de un marco integrado basado en los riesgos.

En consecuencia, el ISP formula las siguientes tres (3) recomendaciones generales.

Recomendación general n.º 1

El ISP recomienda que el Gobierno de Queensland permita a Carbon Energy y Linc Energy continuar con las pruebas piloto actuales con el propósito único y puntual de examinar exhaustivamente si el enfoque de autolimpieza propuesto para el desmantelamiento es seguro para el medioambiente.

Recomendación general n.º 2

El ISP recomienda que se establezca un proceso de planificación y acción para demostrar el desmantelamiento. Un desmantelamiento satisfactorio debe poder demostrar el proceso de autolimpieza o cualquier tratamiento activo que se proponga. Para tal fin:

- 1. Debe elaborarse para el desmantelamiento un plan exhaustivo basado en los riesgos.*
- 2. El Plan debe tener en cuenta que ambas compañías ya han conectado cavidades aptas para realizar la demostración (Linc Energy aún está gasificando);*
- 3. El Plan debe incluir como mínimo un modelo conceptual y modelos numéricos de importancia; una estrategia de muestreo y verificación/validación; fases claves basadas en los eventos que, de ser posible, estén sujetas a periodos de tiempo.*

Se reconocen dos fases importantes:

- a. Muestreo de la zona que rodea la cavidad; y*
- b. Acceso directo a la cavidad.*

4. *El Gobierno debe establecer un proceso para determinar la idoneidad de los planes y su implementación.*

Recomendación general n.º 3

El ISP recomienda que hasta que no se demuestre el desmantelamiento según lo establecido en la Recomendación general n.º 2, no debe iniciarse ninguna operación en escala comercial.

Recomendaciones específicas

Recomendación específica n.º 1

El Gobierno junto con la industria de UCG y un órgano consultivo independiente deben elaborar pautas y normas para la selección del sitio. El ISP recomienda que la selección del sitio sea un proceso precedido y documentado por estudios geológicos adecuados, modelación hidrogeológica y análisis del contexto de la comunidad y el medio ambiente. El criterio de selección de un sitio de UCG se debe basar en estos análisis, es decir, en caso de que den cuenta de algún factor limitante, no se debe seguir adelante con este sitio.

Recomendación específica n.º 2

El ISP recomienda que, en cada panel que inicie, la industria de UCG adopte un enfoque de "*commissioning*" en vez de "puesta en marcha" o "ignición", independientemente del tamaño o la multiplicidad, a fin de reducir los riesgos asociados con esta fase. El proceso de *commissioning* debe contemplar las mejores prácticas mundiales de gestión de riesgos en las industrias de procesos, tales como el análisis HAZOP, modelo de análisis de fallas, análisis del árbol de sucesos y el análisis LOPA, entre otros, con todos los controles necesarios para minimizar desde el principio todos los riesgos inherentes a las actividades de UCG.

Recomendación específica n.º 3

Si se ha extinguido la reacción de UCG, entonces debe procederse a reiniciar la operación del panel según los protocolos de riesgo previamente definidos. Si se considera que la nueva puesta en marcha es inaceptable, se procederá directamente al desmantelamiento y la rehabilitación.

Recomendación específica n.º 4

No deberían encenderse más paneles hasta que se demuestre inequívocamente la seguridad ambiental a largo plazo como resultado de un desmantelamiento efectivo. Las pruebas sobre la efectividad del desmantelamiento deben ser exhaustivas.

Recomendación específica n.º 5

Las compañías deberían proponer, poner a prueba y establecer de inmediato procesos y resultados aceptables y acordados para la rehabilitación.

Recomendación específica n.º 6

El ISP recomienda que toda operación de UCG debe ser autorizada solo si se hace responsable del mantenimiento y control de todas sus condiciones operativas, tomando en cuenta las condiciones del sitio al momento de su aprobación, entre las que se encuentran el mantenimiento de la presión del agua subterránea.

Recomendación específica n.º 7

El Gobierno debería considerar la creación de dos nuevas entidades para dar apoyo a una industria de UCG de manera de asegurar que posea las mejores posibilidades de ser viable desde el punto de vista ambiental, social y económico.

1. Grupo consultivo independiente de análisis y evaluación de UCG.
2. Red I+D de UCG de Queensland.

Recomendación específica n.º 8

Una operación comercial debe diseñarse desde el inicio sobre la base de principios bien establecidos, es decir, un enfoque basado en los riesgos en todas las fases del ciclo de vida de una operación multipanel.

Los sitios de Carbon Energy y Linc Energy han sido operados como sitios piloto. Antes de evaluar la posibilidad de iniciar actividades comerciales, se debe contar con un plan exhaustivo de operación multipanel basado en los riesgos.

Indice

1. Introducción ...	11
2. Recomendaciones generales ...	16
3. Gasificación subterránea del carbón (UCG): marco contextual ...	17
4. Informes de las empresas ...	20
5. Análisis de la industria de gasificación subterránea del carbón y las pruebas piloto de Queensland ...	22
5.1 Ciclo de vida de una planta de UCG ...	22
5.2 Selección del sitio ...	22
5.3 <i>Commissioning</i> ...	26
5.4 Producción ...	28
5.4.1 Análisis de capas de protección ...	31
5.4.1.1 Caracterización del sitio ...	31
5.4.1.2 Diseño del proceso ...	32
5.4.1.3 Control del proceso, alarmas críticas, sistemas de seguridad y sistemas de alivio de presión ...	38
5.4.1.4 Sistemas de protección física ...	43
5.4.1.5 Respuesta de emergencia en la comunidad y en la planta ...	44
5.4.2 Otros modos de operación - Interrupción temporal y nueva puesta en marcha ...	44
5.5 Desmantelamiento ...	45
5.5.1 Información y riesgos no identificados sobre el panel y la cavidad ...	48
5.5.2 Activación del carbón y adsorción de contaminantes ...	53
5.6 Rehabilitación ...	55
6. Gas de veta de carbón y gasificación subterránea del carbón ...	56
7. Marco normativo ...	59
7.1 Observaciones sobre políticas y gobernanza ...	59
8. Escala industrial (operaciones multipanel) ...	63
9. Lista de recomendaciones ...	66
9.1 Recomendaciones generales ...	66

9.2 Recomendaciones específicas ... 66

Términos de referencia ... 69

1. Introducción

Los Términos de Referencia para la Implementación de políticas de gasificación subterránea del carbón, a cargo del Panel Científico de Expertos, están definidos en la versión 1.4 de septiembre de 2010. En este documento se observó, entre otras cosas, que "aunque el informe considerará los costos y beneficios de una posible industria de UCG en relación con los impactos ambientales, sociales y comerciales que esta genere, el panel se concentrará en los aspectos técnicos y ambientales de la tecnología de UCG".

El Panel Científico Independiente (ISP, por su sigla en inglés) ha analizado los materiales de los dos proyectos piloto a la luz de la información obtenida a partir de experiencias internacionales. La información utilizada en los dos proyectos piloto incluía:

- resúmenes de informes finales y apéndices correspondientes;
- desempeño de la empresa durante el proceso de evaluación ambiental; e
- interacciones con la empresa mientras el ISP desarrollaba y llevaba a cabo el proceso.

En este informe, el ISP considera que las pruebas de UCG sobre las que ha recibido información son *pruebas piloto*. Estas se diferencian de las *pruebas de demostración* en que estas últimas se efectúan cuando ya se tiene un conocimiento acabado de la tecnología en todas las fases del ciclo de vida del proceso industrial y las pruebas se realizan en una cavidad o panel¹ para demostrar que la tecnología puede utilizarse para pasar a la escala comercial en las instalaciones de UCG. El ISP entiende que, dada la información suministrada, la manera en la que se la ha suministrado y el diseño general de las instalaciones subterráneas piloto, no se las puede evaluar

1 En este informe, los términos 'panel' y 'cavidad' se refieren al hueco subterráneo creado por la UCG. Reconocemos que 'panel' se refiere a un diseño específico y 'cavidad' es un término más general. Intentamos utilizar el término 'panel' cuando la referencia requiere información implícita sobre el diseño y, por lo tanto, algunas características probables de la cavidad. Caso contrario, se ha empleado el término 'cavidad'. El ISP reconoce que esta puede ser una diferenciación imperfecta de los términos y su uso.

como si fueran pruebas de demostración. De modo que es importante extraer todas las lecciones posibles de las pruebas piloto con el fin de que, en el futuro, las empresas tengan la oportunidad de demostrar de manera fiable que se puede establecer un proceso seguro desde el punto de vista ambiental y aceptable desde el punto de vista social, que sea económicamente viable.

De conformidad con los acuerdos de confidencialidad individuales que firmaron todos los miembros del ISP con las empresas, este informe no necesariamente incluye información y datos técnicos. Las pruebas técnicas que respaldan las recomendaciones se han obtenido a partir de una consideración minuciosa del material técnico proporcionado.

En sus consideraciones, el ISP ha adoptado un enfoque de ciclo de vida. En el **Diagrama 1** se muestra el ciclo de vida de UCG que se ha utilizado. Las principales fases del ciclo de vida son:

- rehabilitación,
- desmantelamiento,
- producción,
- *commissioning*,
- selección del sitio.

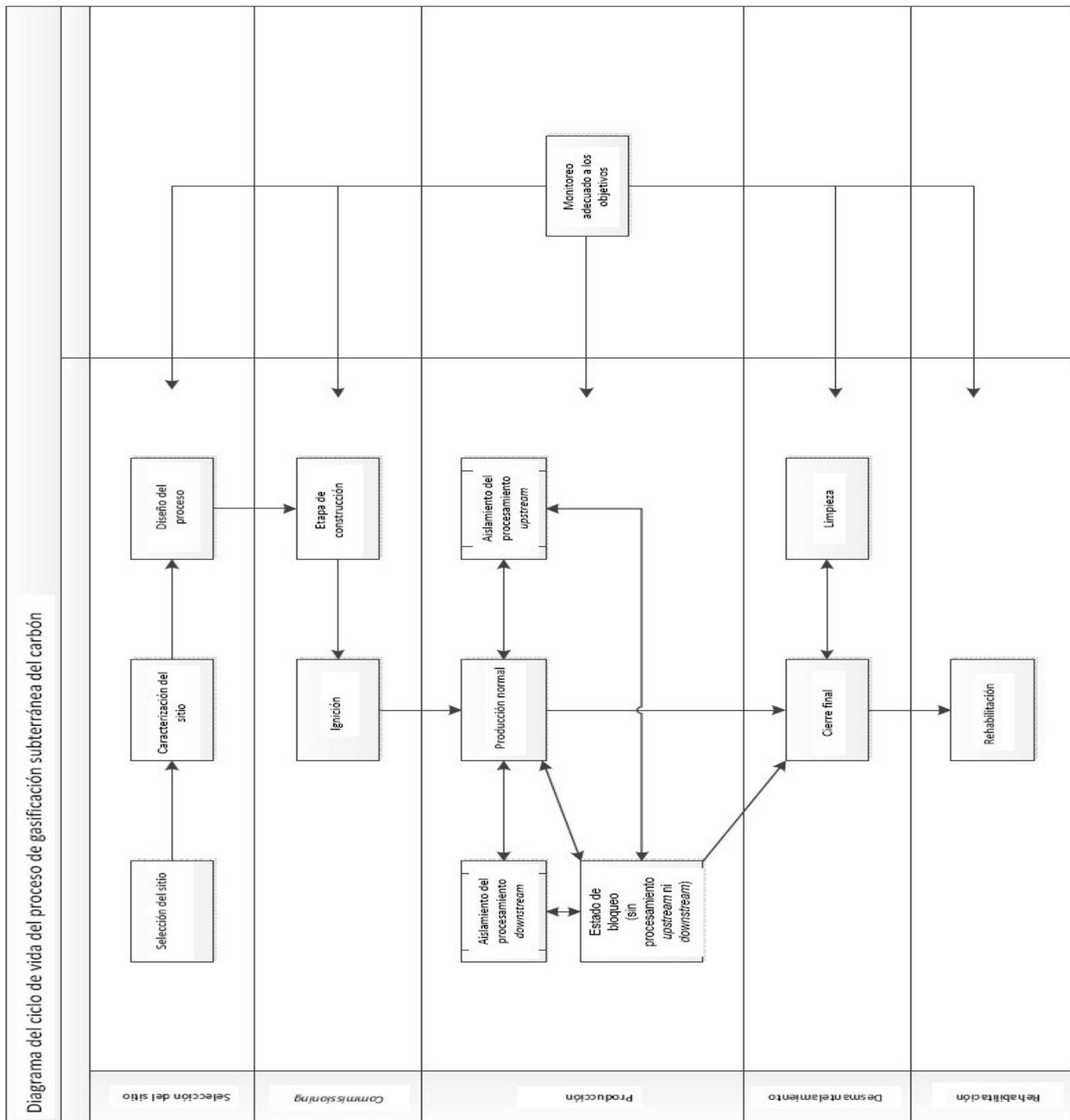


Diagrama 1: Esquema de las etapas del ciclo de vida de una planta de UCG

Al momento de analizar las pruebas piloto de Carbon Energy y Linc Energy, era evidente que ya se había realizado la selección del sitio y, por lo tanto, en este informe se estudian las características cruciales de un sitio apto para UCG y se hacen observaciones sobre el grado de cumplimiento de esas características por

parte de Carbon Energy y Linc Energy; es decir, no se consideró adecuado adoptar un enfoque de determinación de riesgos formal para la selección del sitio.

En el caso del proceso de *commissioning* y la operación, el ISP ha estructurado su análisis en torno a una determinación de riesgos. En el informe se presenta lo que el ISP entiende como riesgos críticos significativos vinculados a estas fases del ciclo de vida. El análisis de los informes de Carbon Energy y Linc Energy consistió en determinar si informaban y trataban estos riesgos y en extraer lecciones de la experiencia adquirida hasta el momento. En general, el ISP concluyó que los informes de las empresas contenían información suficiente para llevar a cabo los análisis, aunque el acceso a la información fue mucho más difícil de lo que debería haber sido, debido a la deficiencia en la integración de datos y la determinación de riesgos (ver la sección 4).

En cambio, en cuanto a la fase de desmantelamiento, el ISP determinó que los informes de las empresas no incluían información suficiente para llevar a cabo un análisis del grado de cumplimiento de las normas de gestión de riesgos necesarias en las tecnologías propuestas. El ISP ha planteado lo que considera que son los riesgos más importantes y ha resumido lo que deberían hacer las empresas para demostrar que estos riesgos se pueden mitigar con eficacia.

No hemos recibido información importante con respecto a la rehabilitación del sitio más allá de declaraciones generales de similitud con otros problemas de rehabilitación en otros lugares. Por lo tanto, el ISP no puede realizar ningún análisis de esta etapa del ciclo de vida.

Todas las recomendaciones que se van haciendo en este informe están reunidas en una sección final para facilitar su consulta. Sin embargo, el ISP aconseja no leer ni citar ninguna de las recomendaciones individuales fuera de contexto.

El ISP determinó que se podía emitir una recomendación general respecto de la UCG en Queensland al momento de redactar el informe y de los dos sitios de pruebas piloto que se examinan aquí.

El método de solicitar a un panel científico independiente que dé su opinión sobre la viabilidad de las pruebas piloto preestablecidas y preaprobadas constituyó un desafío para todas las partes que intervinieron. El ISP quisiera reconocer que las empresas participaron en este proceso inusual de buena fe y en un marco de cooperación en todas las etapas. A continuación (en la sección 3), el ISP presenta un análisis crítico de los informes remitidos por las empresas. Cabe destacar que esta crítica se efectúa partiendo de un proceso ideal. El mundo real no es un lugar ideal y el ISP comprende los apremios y dificultades de las exigencias cotidianas que enfrenta el personal de las empresas. Por lo tanto, expresamos nuestra gratitud por la manera en la que el personal colaboró con el ISP durante todo el proceso.

Por último, en distintas ocasiones durante el proceso, el ISP tuvo dificultades para entender los procesos gubernamentales. Una mejor integración del flujo de información y una mejor coordinación de los objetivos entre los departamentos estatales habrían facilitado enormemente varios de los aspectos de las deliberaciones del ISP y la puntualidad de la presentación del informe. El ISP comprende que se deben brindar oportunidades de desarrollo profesional, y las personas deben aprovecharlas cuando surgen, pero los cambios frecuentes de funcionarios y en la secretaría de la que depende el ISP limitaron la eficacia del proceso.

La participación en el panel no ha sido una actividad de dedicación exclusiva por parte de sus integrantes. Reconocemos que no haber podido dedicar un tiempo extenso a las actividades del ISP ha afectado la rapidez con la que concluimos el informe. No obstante, asumimos nuestra responsabilidad por las limitaciones inevitables que este contiene.

2. Recomendaciones generales

Tras haber evaluado los materiales puestos a disposición del ISP por parte de las compañías y otros del dominio público, este ha llegado a las siguientes conclusiones globales.

- *En principio*, la gasificación subterránea del carbón podría llevarse a cabo de manera socialmente aceptable y ambientalmente segura cuando se la compara con un amplio abanico de otras actividades existentes que utilizan recursos.
- El ISP considera que para poder llevar a cabo operaciones comerciales de UCG en Queensland primero debe demostrarse el proceso de desmantelamiento y luego es necesario desarrollar un diseño aceptable para ese tipo de operaciones, dentro de un marco integrado basado en los riesgos.

En consecuencia, el ISP formula las siguientes tres (3) recomendaciones generales.

Recomendación general n.º 1

El ISP recomienda que el Gobierno de Queensland permita a Carbon Energy y Linc Energy continuar con las pruebas piloto actuales con el propósito único y puntual de examinar exhaustivamente si el enfoque de autolimpieza propuesto para el desmantelamiento es seguro para el medioambiente.

Recomendación general n.º 2

El ISP recomienda que se establezca un proceso de planificación y acción para demostrar el desmantelamiento. Un desmantelamiento satisfactorio debe poder demostrar el proceso de autolimpieza o cualquier tratamiento activo que se proponga. Para tal fin:

- 1. Debe elaborarse para el desmantelamiento un plan exhaustivo basado en los riesgos.*
- 2. El Plan debe tener en cuenta que ambas compañías ya han conectado cavidades aptas para realizar la demostración (Linc Energy aún está gasificando);*
- 3. El Plan debe incluir como mínimo un modelo conceptual y modelos numéricos de importancia; una estrategia de muestreo y verificación/validación; fases claves basadas en los eventos que, de ser posible, estén sujetas a periodos de tiempo.*
Se reconocen dos fases importantes:

- a. Muestreo de la zona que rodea la cavidad; y*
 - b. Acceso directo a la cavidad.*
- 4. El Gobierno debe establecer un proceso para determinar la idoneidad de los planes y su implementación.*

Recomendación general n.º 3

El ISP recomienda que hasta que no se demuestre el desmantelamiento según lo establecido en la Recomendación general n.º 2, no debe iniciarse ninguna operación en escala comercial.

3. Gasificación subterránea del carbón: marco contextual

El método de UCG se emplea para extraer energía de las vetas de carbón cuya explotación económica no sería posible con métodos más tradicionales de minería a cielo abierto o minería subterránea del carbón, debido al bajo rango del carbón o a la profundidad de las vetas. Los pozos de inyección de la superficie suministran oxidantes y vapor para encender y alimentar el proceso de gasificación subterránea. El gas obtenido (gas de síntesis o syngas) se lleva a la superficie mediante pozos de producción separados (aunque en unos pocos casos se ha utilizado un solo pozo para las dos funciones). La gasificación se suele realizar a una temperatura que oscila entre 900 °C y 1200 °C pero que puede llegar a 1500 °C. El proceso gasifica el carbón y genera lo que se denomina syngas, que está compuesto principalmente por dióxido de carbono, hidrógeno, monóxido de carbono, metano, nitrógeno, vapor e hidrocarburos gaseosos. La proporción de esos gases varía según el tipo de carbón, la eficacia y los parámetros de control del proceso de gasificación. El gas obtenido se utiliza como combustible para la generación de energía, como materia prima química, para la conversión de combustible de gas a líquido o como fertilizante.

El proceso de UCG libera aproximadamente el 90 % de la energía disponible en la sección de la veta de carbón que está dentro de la cavidad (en comparación con la tecnología convencional a cielo abierto, donde el porcentaje es de ~60 %).

Es importante controlar el flujo de oxígeno hacia el carbón de modo que la producción de syngas sea adecuada para el propósito previsto y no se produzca una quema subterránea no controlada, que no se produciría si no hubiera oxígeno. En varios aspectos de la operación, el proceso de gasificación incluye la pirólisis, que inevitablemente produce sustancias químicas causantes de una grave contaminación del medio circundante si se escapan de la cavidad de gasificación. El aspecto clave para asegurar una operación de UCG segura desde el punto de vista ambiental y aceptable desde el punto de vista social es garantizar el confinamiento o la remoción de estas sustancias químicas. Por lo tanto, un aspecto importante en

el que se concentra el ISP es la fase de desmantelamiento de las pruebas piloto de UCG analizadas en este informe. Es esencial que haya pruebas inequívocas de que las cavidades queden limpias tras el desmantelamiento.

El ISP no se ha centrado en el posible hundimiento, dado que considera que es un concepto que se comprende bien y está regulado a partir de las experiencias de la explotación subterránea del carbón por tajos largos (*longwall*).

En el sector de la UCG, las pruebas piloto en Queensland se han hecho conocidas por la duración y la calidad del trabajo realizado hasta el momento. El ISP concluye que la inversión realizada por el estado de Queensland en investigación comercial a través de pruebas piloto es potencialmente valiosa en el mediano plazo.

4. Informes de las empresas

Entre el periodo de tiempo transcurrido desde que el ISP ha supervisado las pruebas piloto hasta la elaboración de los informes han ocurrido muchos cambios. Es evidente que las empresas han obtenido un gran aprendizaje a partir de las pruebas. En el informe se señalan las lecciones técnicas aprendidas en el proceso. También se ha observado un progreso considerable en la estructura y la presentación de la información.

Sin embargo, queda mucho por aprender en las áreas técnica y de información. El ISP sostiene firmemente que la UCG debe tratarse como proceso industrial y, por lo tanto, las operaciones deben emplear métodos estándar (con la adaptación adecuada según las circunstancias particulares).

Con el tiempo las empresas han presentado información en consonancia con un enfoque basado en los riesgos. El ISP solicitó que los informes de los proyectos piloto siguieran la siguiente estructura básica:

1. Una descripción detallada de la tecnología o tecnologías que se emplean o ensayan en cada prueba;
2. Una descripción de las etapas del ciclo de vida de la tecnología;
3. Una determinación de los riesgos de cada etapa del ciclo de vida, con una descripción de peligros, vías y receptores², y medidas de mitigación o control propuestas, que incluyan análisis de capas de protección (método LOPA, por su sigla en inglés). Se solicitó a las empresas que suministraran información técnica de respaldo con el nivel de precisión que requería el ISP para determinar si estábamos de acuerdo con ellos respecto del nivel de riesgo asignado y si era probable que las medidas de mitigación fueran suficientes.

Para orientar a las empresas, el ISP les entregó un esquema del documento y mantuvo una serie de reuniones presenciales en las que se aclararon dudas.

² N. de las T.: Receptor, entidad ecológica expuesta a un causante de estrés. Vías de contaminantes: avenidas para la distribución de contaminantes.

El ISP consideró que debía utilizarse la determinación de riesgos como marco integrador central en todos los ciclos, para determinar si las pruebas piloto demostraban que la UCG es aceptable desde un punto de vista ambiental y social. Ello no equivale a garantizar una determinación de riesgos de nivel industrial para la operación de la planta piloto. Cada empresa adoptó un enfoque diferente en la determinación de riesgos general de la fase piloto. A la hora de realizar las determinaciones de riesgos, es esencial que los principales riesgos significativos estén respaldados únicamente con la información y los datos de monitoreo necesarios para demostrar de manera fiable que las medidas propuestas de mitigación y control son adecuadas. El ISP observó que las empresas presentaron una cantidad importante de información pertinente pero podrían haber relacionado con mayor eficacia los datos provistos con las amenazas identificadas.³ Es importante que los planes de desmantelamiento que entreguen las compañías demuestren que el valor integrador de la determinación de riesgos se ha incorporado en los procesos de la empresa.

³ N. del E.: Es por esto que el ISP concluye que no se ha garantizado una determinación de riesgos de calidad industrial.

5. Análisis de la industria de gasificación subterránea del carbón y las pruebas piloto de Queensland

5.1 Ciclo de vida de una planta de gasificación subterránea del carbón

Este informe está estructurado en torno al ciclo de vida de una operación de UCG. Las etapas esenciales son selección del sitio, *commissioning*⁴, producción (incluye interrupciones temporales por mantenimiento y la puesta en marcha subsiguiente), desmantelamiento y la rehabilitación final del sitio. Cada una de estas etapas está compuesta por subfases o modos de operación, con múltiples interconexiones y relaciones, tal como se muestra en el esquema del **Diagrama 1**.

5.2 Selección del sitio

La selección de un sitio apropiado para la operación de la gasificación subterránea del carbón (UCG) es la estrategia de mitigación de riesgos más importante y, por lo tanto, es fundamental para la viabilidad económica y ambiental de los proyectos piloto. El proceso de selección del sitio debe seguir un criterio estructurado que analice progresivamente sus características incrementando los esfuerzos y gastos en cada fase subsiguiente. Por lo tanto, los esfuerzos y costos de desarrollo deben aumentar según corresponda para reflejar el potencial del sitio. Es necesario investigar y considerar los siguientes factores para seleccionar el sitio adecuado:

- características del recurso
- marco normativo
- contexto social y de la comunidad
- contexto de utilización local de la tierra
- medio receptor
- parámetros geológicos, geomorfológicos e hidrológicos

4 N. de las T.: En el informe se hace una diferenciación importante entre los términos *commissioning* y *start-up*. El *commissioning* es previo al *start-up* en sí (abarca las etapas de diseño, construcción, puesta en marcha y arranque). Dado que ese enfoque tiene una serie de pasos que seguir (constituye, de hecho, una especialidad en ingeniería), lo que explica el texto es que debe aplicarse este método y no un simple enfoque de 'start-up' (puesta en marcha).

- riesgos

Las particularidades del recurso que se deben analizar con precisión como parte del procedimiento de selección del sitio deben incluir calidad, tamaño, marco geológico e hidrológico y viabilidad económica del recurso. La eficacia del proceso de combustión y la calidad del producto dependen en parte del nivel de saturación y de la presión hidrostática dentro de la veta de carbón. *Cuanto más profunda sea la veta*, menor será la probabilidad de que surjan problemas operativos, por ejemplo, el ingreso no controlado de aire a la cámara de combustión.

Como regla general, un sitio de UCG debe operarse con un método estricto basado en los riesgos y debe tener, por lo menos, las siguientes características:

- Veta de carbón a una profundidad suficiente para minimizar las consecuencias ambientales de cualquier contaminación ambiental posible. Cuanto más profundo esté el carbón, habrá menos acuíferos utilizables y, si el suelo presenta horizontes impermeables adecuados⁵ por sobre el nivel de profundidad de la gasificación, la probabilidad de que los materiales (gas o líquido) migren a la superficie es mucho menor.
- Veta de carbón de un grosor suficiente para soportar la gasificación con una probabilidad razonable de viabilidad económica.
- El rango del tipo de carbón debe ser de lignito a carbón bituminoso que no se hincha⁶
- Altura hidráulica suficiente para contener una gasificación eficaz.
- Veta de carbón cubierta por roca impermeable.
- El recurso debe estar ubicado de manera tal que haya un grosor suficiente entre este y todo acuífero valioso que se encuentre en niveles más altos de la sucesión geológica.

5 N. de las T.: Barrera natural debido a la composición del suelo.

6 N. de las T.: La gasificación subterránea tiene que restringirse a tipos de carbón que no se hinchen porque la expansión de un carbón que se hincha debido al calor de la combustión taponan los espacios por los que tiene que fluir el gas.

- Distancia suficiente respecto de ríos, lagos, arroyos y filtraciones para evitar la contaminación en caso de que se escapen sustancias químicas de la cavidad.
- Ausencia de fallas o intrusiones en las cercanías del sitio. Esto depende del tamaño de la cavidad.
- Distancia suficiente respecto de la población más cercana o infraestructura intensiva en la superficie, por ejemplo, proyecto de riegos o corrales de engorde (*feedlot*) y áreas de riqueza ambiental, por ejemplo, bosques o humedales del Patrimonio Mundial, con el fin de evitar la contaminación en caso de que se escapen sustancias químicas de la cavidad y minimizar el impacto de los olores.

Pruebas piloto: problemas y lecciones aprendidas

El ISP reconoce que se ha aprendido mucho acerca de la selección del sitio desde que se establecieron las pruebas piloto. Sin embargo, dadas las experiencias internacionales al momento de tomar la decisión sobre la aprobación de los ensayos, el ISP no sabía con seguridad por qué no se eligieron vetas de carbón más profundas desde el principio.

En el Diagrama 1 se observa que el diseño del proceso se considera parte de la selección del sitio. Esto es importante porque indica que la caracterización del sitio no es independiente de la tecnología que se empleará (incluido el procesamiento del syngas en la etapa *downstream*). El sitio (y el informe) de Linc Energy contiene distintas pruebas piloto, cada una con un diseño diferente. En consecuencia, queda claro que no se optimizó a priori la caracterización del sitio para el diseño del proceso. Este es uno de los motivos por los cuales las pruebas se deben considerar pruebas piloto en lugar de pruebas de demostración (ver la Recomendación general 1).

Un vínculo importante entre la caracterización del sitio y el diseño del proceso es el monitoreo adecuado a los objetivos. Es necesario conocer de antemano los detalles del diseño de la tecnología para procurar que el monitorio sea suficiente, esté bien ubicado y sea eficaz para el proceso previsto. En la sección 5.4.1.2 se menciona que la infraestructura y los sistemas de monitoreo no informan los problemas adecuadamente a los operadores. Un aspecto importante del diseño del proceso como parte de la

caracterización del sitio es la multiplicación de los paneles CRIP (punto de inyección retráctil controlado) para una operación en escala comercial. La caracterización del sitio de un solo panel no es la misma que para paneles múltiples (en particular, si se evalúan distintas tecnologías). Es fundamental que el diseño del monitoreo se implemente desde el principio para contar con suficientes datos de referencia y de comportamiento del sitio al momento de gasificar los paneles. Linc Energy aún no ha evaluado esa caracterización del sitio porque todas las pruebas piloto fueron diferentes y no se ha implementado ningún diseño de monitoreo para cada tecnología específica en todo el sitio. Carbon Energy tiene un diseño de sitio que prevé paneles múltiples. Sin embargo, no se ha presentado ningún plan completo de monitoreo. Además, la tecnología que intentaron utilizar en el primer panel requería una modificación en el diseño para aumentar la probabilidad de éxito en la prueba del segundo panel. En los dos sitios, los regímenes de monitoreo han evolucionado considerablemente con respecto a los diseños originales, y continúan evolucionando con el paso del tiempo. Por lo tanto, las pruebas piloto, en general, no han demostrado una selección del sitio satisfactoria para una operación en escala comercial.

El ISP no está de acuerdo con el análisis retrospectivo de Linc Energy que indica que su sitio cumple con los requisitos de un sitio adecuado para UCG. El ISP aún no está totalmente convencido de que los sitios de Linc Energy y Carbon Energy presentan una profundidad suficiente. Dado que los sitios menos profundos conllevan mayores riesgos, la demostración de una sola cavidad limpia en estos sitios no basta para determinar automáticamente que las operaciones comerciales son aceptables.

Recomendación específica n.º 1

El Gobierno junto con la industria de UCG y un órgano consultivo independiente deben elaborar pautas y normas para la selección del sitio. El ISP recomienda que la selección del sitio sea un proceso precedido y documentado por estudios geológicos adecuados, modelación hidrogeológica y análisis del contexto de la comunidad y el medio ambiente. El criterio de selección de un sitio de UCG se debe basar en estos análisis, es decir, en caso de que den cuenta de algún factor limitante, no se debe seguir adelante con este sitio.

5.3 *Commissioning*

La operación de puesta en marcha inicial en un panel de UCG es un proceso complejo que incluye elementos desde la selección del sitio hasta la ignición. Durante la secuencia de puesta en marcha de un panel, pueden ocurrir varias desviaciones del proceso que conllevan posibles situaciones de riesgo:

- Desviación de la geología o hidrogeología del sitio con respecto a lo que se predijo en las fases de caracterización del sitio y diseño.
- Diseño inadecuado del pozo para un sitio seleccionado.
- Desviación de la construcción del pozo con respecto al diseño.
- Fallas de los equipos mecánicos o eléctricos en la superficie.
- Bloqueo en la inyección, ignición o pozos de producción, o en el propio panel.
- Falla de los sistemas de control.
- Explosión subterránea.
- Sobrepresurización de la veta de carbón.
- Falla de ignición.

Al igual que en cualquier proceso químico, la probabilidad de desviación es mayor durante la fase de puesta en marcha que durante la operación normal. Este es un hecho aceptado en la industria de ingeniería de procesos, porque toda operación que no haya llegado al 'régimen estacionario'⁷ es inherentemente más difícil de predecir y controlar. Para combatir este riesgo mayor, de acuerdo con las pautas y normas de ingeniería de procesos, se debe adoptar un enfoque de '*commissioning*' basado en la gestión riesgos. El proceso de *commissioning* debe contemplar las mejores prácticas mundiales de gestión de riesgos en las industrias de procesos, tales como el análisis HAZOP, modelo de análisis de fallas, análisis del árbol de sucesos y el análisis de capas de protección (LOPA, por su sigla en inglés), entre otros, con todos los controles necesarios para minimizar desde el principio todos

7 N. de las T.: Estado de un sistema físico en el cual todas las características relevantes permanecen constantes en el tiempo.

los riesgos inherentes a las actividades de UCG. Es importante implementar este proceso desde el comienzo y durante toda la operación, y no *ad hoc* o solo en un determinado equipo de procesos.

El ISP cree firmemente que la secuencia de ignición de un panel es semejante al inicio de una nueva planta de procesos. Por lo tanto, se recomienda que, en todo proyecto de UCG, se emplee el enfoque de *commissioning* basado en la gestión de riesgos cada vez que se comience un nuevo panel. En esta recomendación no es fundamental el hecho de que las consecuencias de un suceso de peligro durante el *commissioning* son predominantemente económicas más que ambientales. El estilo de gestión de riesgos, de la industria de procesos, debe aplicarse a todos los aspectos de la operación de UCG, a partir de la selección del sitio, el diseño y el *commissioning*. Por lo tanto, '*commissioning*' es el término y concepto estándar y correcto de la industria de procesos. El ISP considera que se debe adoptar este término y aplicarlo sistemáticamente en la industria de UCG.

Pruebas piloto: problemas y lecciones aprendidas

Los riesgos asociados al *commissioning* se pueden minimizar con una selección del sitio adecuada y el cumplimiento de las mejores prácticas mundiales para tecnología UGC y diseño de cavidades y de los procedimientos apropiados de *commissioning*. Sin embargo, de la documentación proporcionada por los promotores del proyecto, se desprende que el enfoque de gestión de riesgos que propone el ISP no se aplicó desde el principio. Esto debe modificarse en las actividades futuras.

El ISP ha llegado a la conclusión de que el principal riesgo del *commissioning* es la explosión de la cavidad que se está iniciando, lo que perjudicaría o debilitaría el rendimiento mecánico de los cabezales, las tuberías de revestimiento (incluidas las cortas o *liners*), las válvulas de control y sistemas en la superficie. Los procedimientos de operación segura (SOP, por su sigla en inglés) para la secuencia de ignición son un componente fundamental de la gestión de riesgos y forman parte de las mejores prácticas. No se han proporcionado SOP, por lo cual el ISP no ha podido evaluar su idoneidad.

Linc Energy, en la sección de determinación de riesgos, mencionó el riesgo que conlleva la concentración alta de oxígeno como precursor de ambientes explosivos. Se trató específicamente el trabajo importante realizado en el gasificador 5 con respecto a este riesgo y se tomaron medidas adicionales para controlarlo. Los procedimientos durante el monitoreo se deben tratar en un SOP. El ISP sostiene que es responsabilidad del Gobierno asegurar el cumplimiento del SOP y supervisar los procedimientos a fin de minimizar el riesgo.

Conclusiones

El ISP concluyó que, a partir de las pruebas piloto y la experiencia obtenida de Linc Energy y Carbon Energy, las dos empresas cuentan con los conocimientos necesarios para establecer los mejores procedimientos operativos para mitigar los riesgos sustanciales durante el *commissioning*, incluidos los riesgos más altos, es decir, de explosión subterránea.

Recomendación específica n.º 2

El ISP recomienda que, en cada panel que inicie, la industria de UCG adopte un enfoque de "*commissioning*" en vez de "puesta en marcha" o "ignición", independientemente del tamaño o la multiplicidad, a fin de reducir los riesgos asociados con esta fase. El proceso de *commissioning* debe contemplar las mejores prácticas mundiales de gestión de riesgos en las industrias de procesos, tales como el análisis HAZOP, modelo de análisis de fallas, análisis del árbol de sucesos y el análisis LOPA, entre otros, con todos los controles necesarios para minimizar desde el principio todos los riesgos inherentes a las actividades de UCG.

5.4 Producción

La fase de producción (ver el Diagrama 1) de una planta de UCG es, en principio, un proceso normal que conlleva presiones y temperaturas no ambientales y producción de sustancias químicas como syngas e hidrocarburos más pesados. Por lo tanto, la operación de una planta de UCG debe llevarse a cabo teniendo en cuenta los principios de gestión de riesgos de cualquier industria química o de procesos. Se deben incluir contingencias para el mantenimiento programado y no programado de cada una de las operaciones del proceso de gasificación

subterránea y medidas para el procedimiento de parada de emergencia. La diferencia principal entre la UCG y otras industrias de procesos es que el reactor para de UGC es subterráneo y está expuesto a condiciones desconocidas e incontrolables, que no se hallan en las operaciones en la superficie. Ese también es el motivo principal por el cual la UCG conlleva un riesgo mayor en comparación con otros procesos de gasificación. Estas incertidumbres incluyen aspectos de la geología del carbón, hidrogeología, morfología de los estratos y crecimiento general de la cavidad.

Al igual que en la gasificación de carbón en superficie, el proceso de UCG incluye pirólisis, combustión y gasificación, con la producción inherente de contaminantes como benceno, tolueno, etilbenceno y xilenos (conocidos en conjunto como compuestos BTEX), varios fenoles, hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAH) y otros compuestos tóxicos. Algunos de estos compuestos se encuentran naturalmente en los acuíferos de vetas de carbón. Por lo tanto, es necesario realizar un estudio de base adecuado para diferenciar los productos naturales de los contaminantes.

Si hay elementos químicos contaminantes presentes, se pueden convertir en contaminantes ambientales en caso de que se escapen del proceso de UCG controlado. En una situación ideal de proceso de UCG, todo lo que se produce en el reactor subterráneo se extrae o queda dentro de la cavidad. Todos los contaminantes que llegan a la superficie deben tratarse en plantas de residuos adecuadas para reducir los riesgos inherentes. Sin embargo, a medida que avanza el proceso de UCG, debido a las incertidumbres sobre la geología del sitio, habrá variaciones y desviaciones en la temperatura, presión, caudal de agua subterránea y movimiento de gas y vapor hacia adentro y afuera de la cavidad. De modo que existe el riesgo de que los contaminantes salgan de la cavidad e ingresen en los estratos y acuíferos circundantes. Esto puede contaminar el agua subterránea o causar que egrese syngas a la superficie a través de fallas o fisuras o regiones de alta permeabilidad en los estratos de sobrecarga. Con el fin de detectar los

contaminantes que pueden llegar a la superficie, se debe cumplir con un programa de monitoreo adecuado en el que se emplee un conjunto de pozos de monitoreo bien contruidos y adecuados para el territorio. Todas estas cuestiones son competencia del Gobierno.

Las tecnologías de perforación de UCG y los diseños de cavidades han evolucionado considerablemente en los últimos 30 años. Sin embargo, el proceso de UCG en sí continúa siendo complejo y el alcance, la escala y la gravedad de las emisiones dependerán de las estrategias de mitigación de riesgos adoptadas por los promotores de UCG, cuyo fin es lograr resultados aceptables desde el punto de vista ambiental, social y económico para todas las partes interesadas. En vista de estos problemas, el ISP ha adoptado el enfoque del análisis de capas de protección (LOPA, por su sigla en inglés) para examinar el modo de producción normal. Después de analizar los resúmenes de los informes finales y sus apéndices presentados por Carbon Energy y Linc Energy, el ISP propone un análisis LOPA adecuado (Tabla 1).

Tabla 1: Capas de protección propuestas por el ISP para la gestión de riesgos de UCG en la fase de operación del ciclo de vida.

Capa	Descripción
1	Selección del sitio
2	Diseño del proceso
3	Control del proceso
4	Alarmas críticas
5	Sistemas instrumentados de seguridad
6	Sistemas de alivio de presión
7	Protección física
8	Respuesta de emergencia en la planta
9	Respuesta de emergencia en la comunidad

De acuerdo con la interpretación de la Tabla 1, el enfoque recomendado es que la mitigación de todos los riesgos potenciales debe ser eficaz en la capa más baja. Toda actividad industrial conlleva riesgos y solo cuando resulta insuficiente (o no funciona) la mitigación en un nivel bajo se debe proceder a la capa siguiente. Se considera que nueve capas es la cantidad adecuada para garantizar un modo de

producción de UCG aceptable para la comunidad y segura para el medio ambiente. Si la operación no resulta rentable debido al costo de la implementación de las capas, no se debe proceder, es decir, no es aceptable comprometer capas de protección en pos de la viabilidad económica.

Pruebas piloto: problema y lección aprendida

Conociendo los incidentes que ocurrieron durante las pruebas piloto, resulta evidente que no se adoptó el enfoque convencional basado en la gestión de riesgos para la ingeniería de procesos (análisis LOPA) en los principios operativos originales de las pruebas piloto.

Un punto a su favor es que tanto Carbon Energy como Linc Energy rectificaron las operaciones inadecuadas y mejoraron su gestión de las operaciones y conocimientos técnicos en el transcurso de las pruebas piloto. Se prevé que tras la experiencia de implementación del análisis LOPA para la presentación de informes de las pruebas piloto, las empresas se hallan en mejores condiciones de llevar a cabo una operación con una sola cavidad.

5.4.1 Análisis de capas de protección

5.4.1.1 Caracterización del sitio

Las observaciones y la recomendación respecto de la selección del sitio se pueden consultar en la sección 5.2. El factor más crítico para identificar y controlar el riesgo de la fase operativa es la idoneidad de la caracterización del sitio y el diseño del proceso. Un buen conocimiento de la variabilidad de los distintos estratos y cómo se interrelacionan es una parte importante de la mitigación de riesgos. Para que se mantengan las condiciones de operación segura, es fundamental que haya una distancia suficiente con respecto a los bienes comunitarios y ambientales de interés.

Pruebas piloto: problemas y lecciones aprendidas

Linc Energy administra un sitio que es claramente una planta experimental (de calidad líder en el mundo). La empresa no declaró en ningún momento haber seleccionado y caracterizado el sitio teniendo en cuenta los riesgos

asociados a un diseño comercial específico. Por lo tanto, no es razonable esperar que la caracterización del sitio cumpla con los requisitos óptimos de primera capa de protección para todos los diseños evaluados hasta el momento en que se redactó este informe. En este sentido, cabe desatacar que, en la prueba piloto más reciente (gasificador 5), se aprecian diferencias considerables con respecto al gasificador 4 en varios aspectos importantes del diseño.

Carbon Energy ha administrado su sitio con vistas a ampliar la operación a paneles múltiples. Dado que, con el primer panel, solo se pudo progresar una distancia corta antes de que colapsara una vía subterránea fundamental, se debió modificar el diseño del segundo gasificador (que parece estar funcionando con más eficacia). Resulta evidente que Carbon Energy continúa progresando hacia un diseño definitivo. Hasta entonces, no será posible analizar la selección del sitio en términos de un diseño de paneles múltiples. Es indiscutible que las dos empresas han aprendido mucho sobre diseño de gasificadores, lo cual cabe esperar cuando se ejecutan bien los programas piloto. Aún no se ha demostrado de manera convincente una caracterización del sitio óptima (es decir, coordinación meticulosa y exhaustiva entre la caracterización del sitio y el diseño del proceso). El ISP opina que las dos empresas han adquirido conocimientos suficientes para demostrar lo anterior a la hora de seleccionar un nuevo sitio.

5.4.1.2 Diseño del proceso

Carbon Energy y Linc Energy desarrollaron sus propios diseños de tecnología UCG adaptando el diseño más avanzado en la tecnología de punto de inyección retráctil controlado paralelo con perforaciones direccionales. Este fue un avance considerable con respecto a los diseños anteriores utilizados en las experiencias internacionales de UCG, donde se emplearon pozos verticales con conexión mediante combustión inversa o fractura hidráulica. Los diseños de CRIP paralelo son menos propensos a generar fracturas o fisuras en la veta de carbón o los estratos adyacentes y, por lo tanto, son útiles para mitigar los riesgos asociados al egreso de syngas y la contaminación del agua subterránea.

El proceso y la modelación geotécnica del crecimiento de la cavidad y las condiciones de reacción de la UCG que se presentaron en los informes finales de las dos empresas son limitados. Carbon Energy no suministró ningún modelo de crecimiento de la cavidad, que para su validación debería respaldarse con balances de masa y energía y datos específicos obtenidos de la prueba piloto. Se presentó un ejemplo simplificado de diseño del sitio con paneles múltiples realizado con un programa de software de minería de carbón por tajos largos (el programa COSFLOW) sin evidencia de calibración ni validación. Proporcionaron algunos datos sobre la ubicación de la cavidad y la morfología del panel 1, pero estos datos son más pertinentes para la fase de desmantelamiento; por lo tanto, se tratarán en la sección 5.5.

Linc Energy presentó un modelo de crecimiento de cavidad basado en una modelación informática de la dinámica de los fluidos y la reacción del carbón, el consumo y la generación de gas. Por lo tanto, la empresa ha adquirido experiencia interna en modelación de crecimiento de cavidad. Sin embargo, el modelo se basó en condiciones ideales y no está validado. Se desconoce con qué eficacia pronosticará las variaciones que no es posible controlar desde la superficie, que pueden generar vías de reacción preferencial⁸, y estas, a su vez, afectarían el crecimiento y la morfología de la cavidad. Ni siquiera se ha intentado comparar el modelo con los datos reales de la cavidad (ver la sección 5.5).

Existen diferencias considerables en la cantidad de información disponible entre los modelos de Linc y de Carbon. La información más importante que no se incluyó se relaciona con la validación del modelo de Linc. Linc presentó información confidencial detallada respecto de la modelación de la cavidad para que el ISP realizara la evaluación. Esta información se puede poner a disposición del Gobierno si se presentan las solicitudes formales correspondientes.

La información sobre el crecimiento de la cavidad y el rendimiento de la cámara de reacción subterránea es esencial para el diseño del proceso, en particular, para las

⁸ N. de las T.: trayectoria de reacción de un químico; ciertos cambios en las condiciones pueden hacer que determinado elemento reaccione de una u otra manera y sea o no perjudicial.

operaciones comerciales. Lo que limita su eficacia es el nivel de incertidumbre con respecto al comportamiento de la cavidad durante la operación; por lo tanto, esto compromete el enfoque de gestión de riesgos para la ingeniería de procesos que propone el ISP y refuerza su afirmación de que las pruebas piloto continúan siendo experimentos formales de desarrollo y aprendizaje y, como tales, no cumplen con los requisitos de información de un proceso a mayor escala.

Conclusión

Se deben elaborar modelos de crecimiento de cavidad, y se los debe validar para las operaciones de UCG de un solo panel antes de proceder a un diseño de paneles múltiples.

En este análisis LOPA, el diseño del proceso también incorpora todos los aspectos de la integridad mecánica. Es de particular importancia la selección de materiales, el margen de corrosión permisible y la capacidad mecánica del diseño para tolerar presiones, temperaturas y caudales altos.

Pruebas piloto: problema y lección aprendida

Las pruebas piloto sufrieron problemas mecánicos de diseño relacionados con los pozos de producción, ignición e inyección. Se observaron fallas mecánicas de las cañerías de entubación y los cabezales de los pozos a causa de deficiencias en el diseño, la selección de materiales y la construcción. Las desviaciones causadas por la temperatura y la presión debilitaron los revestimientos o elevaron los pozos, que posteriormente fallaron. Aunque se adoptaron diseños de ingeniería petrolera, no se tuvieron en cuenta de manera adecuada las temperaturas más elevadas asociadas con la operación de UCG, y es evidente que se deben cambiar por normas de diseño que sí lo hagan, como las relacionadas con los pozos geotérmicos.

Carbon Energy y Linc Energy han mejorado sus diseños de pozos para adaptarlos a las operaciones de UGC, y permitir la operación y una desviación aceptable dentro de los regímenes de temperatura apropiados y la remoción in situ de los bloqueos en los pozos. De esta manera se reduce considerablemente el riesgo de falla del cabezal de pozo.

El procesamiento *downstream* del syngas y los condensados relacionados, incluido el tratamiento del agua de superficie, es un componente fundamental de toda la operación de UCG y, como tal, se lo debe diseñar de modo que tolere una variabilidad considerable y desviaciones del proceso que ocurren durante una producción normal. Observamos que varios de los problemas detectados en el tratamiento del agua de producción en las pruebas piloto se podrían haber evitado si se hubiera seguido este principio. Por ejemplo, el agua de producción de UCG ha superado las capacidades de la tubería y los separadores, lo cual generó derrames menores directamente sobre el suelo o en cursos de agua locales. Aunque el Departamento de Medio Ambiente y Protección del Patrimonio (EHP, por su sigla en inglés)⁹ ha investigado minuciosamente estos incidentes, y se han tomado las medidas necesarias, el hecho de que se haya permitido que ocurrieran en primer lugar lleva al ISP a concluir que el diseño del proceso original no se llevó a cabo empleando un enfoque adecuado de gestión de riesgos o que no se implementaron los controles necesarios.

Conclusión

Todo procesamiento *downstream* de syngas y agua de producción debe contemplar las desviaciones del proceso (incluidos los factores de seguridad inherentes) y se debe diseñar y dimensionar en consecuencia cada una de las operaciones. El diseño de los equipos debe contemplar la posible corrosión causada por syngas y agua.

La quema es un componente esencial del diseño del proceso y es necesaria para la operación segura de las instalaciones de procesamiento *upstream* y *downstream*.¹⁰

9 Anteriormente, Departamento de Medio Ambiente y Gestión de Recursos (DERM, por su sigla en inglés).

10 Los procesos de monitoreo actuales son específicos de cada prueba piloto y, en general, el ISP los considera adecuados. Antes de la comercialización, se deben elaborar estrategias de monitoreo específicas y detalladas para cada operación de UCG. El cumplimiento de los requisitos de monitoreo debe ser responsabilidad del Gobierno. En principio, las antorchas descomponen o queman los hidrocarburos y condensados. Cuando no se implementan estrategias específicas de remoción, surgen problemas relacionados con las concentraciones (en partes por millón [ppm] o partes por mil millones [ppb]) de H₂S, Hg, Ar, Cd, Ni y posiblemente silicio. Existen procesos industriales que se utilizan en la remoción de estos componentes.

El ISP reconoce que, si fallara el procesamiento *downstream*, no sería acertado detener la operación de la cavidad y sistemas similares, como la quema, para realizar una combustión segura del exceso de syngas.

Conclusión

La quema es un componente esencial de la operación de UCG; debe incorporarse en el diseño del proceso y ser capaz de adaptarse a las variaciones y desviaciones de este.

A la vista de las complejidades asociadas con la operación de UCG, de acuerdo con el análisis LOPA, el diseño del proceso debe incluir el monitoreo como aspecto fundamental de protección. De hecho, el diseño de los sistemas de monitoreo se debe considerar al inicio del proceso de diseño y debe adecuarse a las condiciones del sitio y las posibles desviaciones o indicaciones de posibles desviaciones que se conozcan.

Pruebas piloto: problema y lección

Las pruebas piloto han reafirmado la opinión habitual de que los sistemas de monitoreo son un componente fundamental del diseño del proceso de UGC. Por ejemplo, la presión de funcionamiento de la cavidad no debe superar la presión hidrostática del agua subterránea circundante. Se ha observado e informado una mayor presencia de contaminantes en los pozos de monitoreo cuando se supera la presión hidrostática durante un periodo prolongado. Carbon Energy y Linc Energy reconocen que una presión de funcionamiento superior a la presión hidrostática genera una difusión de gas y vapor a los estratos adyacentes, por lo cual se detectan productos de la pirólisis en el agua subterránea. Por lo tanto, antes de la construcción o perforación de un nuevo panel, se deben instalar los pozos de monitoreo del agua subterránea. Las pruebas piloto han incluido pozos de monitoreo instalados de conformidad con los requisitos normativos y de presentación de informes de distintos órganos de reglamentación o según lo consideró adecuado cada promotor de UCG.

Carbon Energy ha suministrado datos que indican que, cuando la presión de funcionamiento cayó a un nivel inferior al de la presión hidrostática del agua subterránea, los contaminantes migraron y se podría redirigirlos a la cavidad mediante el control de la tasa de inyección de aire y, por lo tanto, de

la presión de la cavidad interna. Esa fue una lección importante sobre la eficacia del monitoreo, la detección de desviaciones y las medidas correctivas.

Dado que las pruebas piloto han demostrado que se produce una inversión del flujo hacia la cavidad y que se la puede monitorear con eficacia, el ISP concluye que asimismo es posible monitorearla con eficacia en la práctica. Según la experiencia del ISP, el monitoreo continuo del progreso de las pruebas piloto es viable, pero es responsabilidad del Gobierno, no del ISP.

La evolución del diseño de los pozos de monitoreo estuvo sujeta a presiones normativas, aunque con distintos grados para los distintos promotores de UGC. En algunas pruebas piloto fue necesario instalar pozos adicionales para monitorear mejor el proceso. Un punto a su favor fue que, en todas las pruebas piloto de UGC, por iniciativa propia, instalaron pozos de monitoreo adicionales a los establecidos en las licencias ambientales iniciales con el fin de comprender y seguir el proceso.

Las empresas todavía no han demostrado plenamente tener capacidad de diseñar e instalar una red de monitoreo apta para operaciones de paneles múltiples, y algunos de los datos sobre el agua subterránea posiblemente no sean representativos. Por ejemplo, los pozos de monitoreo de agua subterránea de Linc Energy se purgan automáticamente (agua subterránea elevada por efecto del gas)¹¹. Esto puede causar la pérdida de contaminantes de carbono orgánicos volátiles durante la recolección de muestras. Existen también dudas con respecto a

11 N. de las T.: Cuando la presión del gas invasor en el acuífero llega a un cierto valor, se activa la bomba de *gas-lift* y empuja el agua hacia arriba haciendo una 'purga' del agua en la bomba. En otras palabras, no es necesario hacer una purga del agua en estos pozos sino que es consecuencia de la invasión del gas y su consecuente activación de la bomba de *gas-lift*.

Observación: La bomba de *gas-lift* solo se activará cuando el gas invasor llegue a una cierta presión. Si la presión de gas es baja, entonces la contaminación habrá llegado al acuífero pero la bomba no mandará muestras de agua a la superficie. Por otro lado, este método solo ayuda a detectar contaminación con gas. ¿Qué sucedería si en vez de gas llegaran líquidos resultantes de la combustión? En este caso la bomba no mandará muestras que permitan detectar la contaminación. Es decir, este método no es adecuado puesto que sólo permite detectar contaminación de gases, y cuando estos exceden un cierto valor de presión.

la construcción de los pozos de monitoreo de agua subterránea de Carbon Energy, que posiblemente dificulte la obtención de muestras representativas de agua subterránea.

Es posible que estos aspectos impidan realizar un análisis preciso de los impactos subterráneos relacionados con las especies químicas transportadas por agua subterránea o gas. El ISP reconoce estas dificultades, así como se reconocen en los informes de las pruebas piloto, en particular, en el informe de Carbon Energy. Se sugiere el uso de sistemas mejorados. El ISP también señala que los departamentos gubernamentales han impulsado una evaluación ambiental a partir de ese tipo de monitoreo.

Conclusión

El diseño de los pozos de monitoreo de agua subterránea debe formar parte del diseño del proceso. Se reconoce que algunos pozos deberán sacrificarse a medida que crezca el gasificador. Los pozos "de sacrificio" pueden utilizarse para acceder a la cavidad de UCG durante el *commissioning* y la rehabilitación. Los pozos de monitoreo deben instalarse antes de comenzar ninguna operación. Aún no se ha demostrado la capacidad de diseñar e instalar un sistema de monitoreo apto para operaciones en paneles múltiples.

5.4.1.3 Control de procesos, alarmas críticas, sistemas de seguridad y sistemas de alivio de presión

Las capas LOPA 3 a 6 cubren varios aspectos de los sistemas de control de procesos y sistemas de seguridad automatizados básicos y avanzados para el proceso de UCG, por lo que a los fines de este resumen se ha decidido combinarlas. Estas capas suelen estar asociadas a la industria del petróleo y el gas. Mediante el proceso de UCG se obtiene syngas a temperaturas y presiones moderadas, por ello opera bajo los mismos parámetros que el sector mencionado.

Prueba piloto: problema y lección aprendida

Las pruebas piloto indican que muchos de los sistemas de gestión de riesgos utilizados por la industria de procesos para el método LOPA 3 a 6 no han sido implementados de manera adecuada por las compañías. Sin embargo, los informes sobre gestión de riesgos que presentó Carbon Energy y Linc Energy han mostrado la incorporación de algunas de esas capas de protección y analizan otras contempladas en la actualidad.

Carbon Energy ha presentado diagramas de tuberías e instrumentación (DTI) que muestran indicadores de presión y temperatura, válvulas de control de procesos, válvulas de alivio de presión y sistemas de quema, entre otros sistemas de control básicos y avanzados. El informe de determinación de riesgos de Carbon Energy y R4Risk¹² incluye un análisis detallado de los sucesos de riesgo y especificaciones sobre los sistemas de control, con enlaces a las etiquetas del equipamiento (*tags*) afectado, lo que permite examinar esos sistemas por completo. El ISP encomia el contenido de este informe, pero considera que su plena utilidad no se halla adecuadamente integrada al documento principal (ver la sección 4). El informe de R4Risk es visiblemente más exhaustivo que el presentado por Linc Energy, que brindó información de tipo cualitativa sobre sus sistemas de control. Linc Energy no presentó diagramas de tuberías e instrumentación ni dio los detalles esperados sobre capas de protección, controles básicos o avanzados implementados o puestos en consideración.

Los procesos básicos de control componen la primera línea de monitoreo para medir desviaciones vinculadas a presión, temperatura, tasas de flujo y calidad del gas. Estos parámetros pueden y deberían monitorearse y controlarse en línea y en tiempo real. Sin embargo, cualquier desviación en el proceso que ocasione impactos ambientales significativos (como contaminación del agua subterránea) podría detectarse mediante los pozos de monitoreo sólo varias semanas o meses después del suceso. Por ello es imprescindible que los procedimientos operativos permitan el monitoreo continuo o casi continuo de estos parámetros. Teniendo en cuenta el

¹² Compañía dedicada a realizar este tipo de informes de riesgos para industrias.

alcance de las pruebas piloto, este enfoque brinda a los operadores e ingenieros una gran oportunidad para analizar la causa de un desencadenante ambiental determinado e investigar cuáles son las medidas adecuadas de remediación.

El ISP hace notar que varios de los accidentes informados durante las pruebas piloto se debieron a un insuficiente monitoreo automático de presión, temperatura, tasas de flujo y calidad del gas. Por ejemplo, en varios informes de la prueba piloto de Carbon Energy existen pruebas de que las presiones de la cavidad han superado varias veces la presión hidrostática del agua subterránea. Esto tuvo como consecuencia descargas visibles de contaminantes de distinto grado en abril de 2010 y marzo de 2011. El ISP considera que, de haberse implementado los sistemas de control adecuados, podrían haberse disminuido considerablemente los riesgos que supone el desencadenamiento de un suceso de contaminación. Sin embargo, gracias a los registros del monitoreo, Carbon Energy pudo identificar la causa de la descarga de contaminante y tomar medidas de remediación adecuadas para atenuar los impactos.

Para las operaciones comerciales, de mayor envergadura, en las que se ha realizado la modelación del agua de producción y el agua subterránea, este nivel de monitoreo permitiría a los operadores tomar medidas correctivas inmediatas y reducir la gravedad o duración del suceso, para minimizar las consecuencias. Los controles básicos de procesos incorporan puntos fijos de referencia altos y bajos para corregir la variabilidad del proceso de UCG. Entre los ejemplos se incluyen:

- La diferencia entre la presión de la cavidad y la presión hidrostática del agua subterránea, para evitar el egreso de gas y la contaminación de agua subterránea.
- Las temperaturas de la cavidad y de los pozos, que pueden ocasionar daños en el cabezal de pozo o en la tubería de revestimiento corta, aumentan la producción de componentes de la pirólisis.

- Tasas de flujo de los pozos de inyección y producción que se vinculan directamente con los bloqueos causados por agua y ceniza.
- Balances de masa para controlar pérdidas de gas.
- Calidad del gas para asegurar que el diseño de la UCG respete las especificaciones del syngas.

Las alarmas críticas son aquellos dispositivos relacionados con sensores independientes para monitorear parámetros del proceso, interbloqueos, válvulas de aislamiento y seguridad por redundancia, según sea necesario. Estas requieren de un diagnóstico rápido por parte del operador o ingeniero y de una decisión también rápida sobre la necesidad de intervención. La documentación referida a las pruebas piloto indica una falta de alarmas críticas y de procesos adecuados de toma de decisiones desde el comienzo. Por ejemplo, en una ocasión, durante la prueba piloto de Carbon Energy, las contrapresiones de un pozo de inyección hicieron un pico de 37 bar, lo que originó la emisión de agua de producción a través de la quema. Esto representa una presión de inyección 270 % superior a la presión hidrostática esperada. En esa ocasión, la causa de la alta presión fue un bloqueo en el pozo. Según parece, Carbon Energy notó esta anomalía, pero tomó la decisión de continuar inyectando sobre el supuesto de que la obstrucción se revertiría por sí sola. El ISP opina que si esta posible situación de riesgo se hubiera examinado en el marco de una cultura adecuada de gestión del riesgo, antes del proceso de *commissioning* o como parte de este, hubiera sido posible tomar otra medida (por ejemplo, detener la inyección, aislarla o aplicar un método de alivio de presión). Lo que es aun más importante es que la decisión tomada hubiera respondido a un procedimiento específico, diseñado para mitigar la situación de riesgo, en lugar de la decisión *ad hoc* que se tomó. Sin embargo, el ISP señala que el análisis realizado por Carbon Energy luego de la desviación dio lugar al desarrollo de nuevos procedimientos operativos con el fin de evitar riesgos similares en el futuro.

Los sistemas instrumentados de seguridad (SIS) son necesarios como parte de la filosofía LOPA. Los SIS son sistemas de control avanzados que ejecutan

automáticamente procedimientos de parada de emergencia para aislar de manera segura partes de la planta o su totalidad.

Prueba piloto: problema y lección aprendida

Durante las pruebas piloto ocurrieron incidentes que demuestran que no se han implementado sistemas instrumentados de seguridad suficientes. Una posibilidad hubiera sido el uso de botones de parada de emergencia para los compresores de inyección cuando se detecta una sobrepresurización de la cavidad y fallan los sistemas de control de presión. El sistema también puede incluir disposiciones para la despresurización de emergencia de la cavidad enviando el syngas a la antorcha.

Los informes de las pruebas piloto no indican que se disponga de un nivel tan sofisticado de control de procesos. Aun así, los informes sobre determinación de riesgos para Carbon Energy y Linc Energy muestran que los promotores de UCG han tomado debida cuenta de estos problemas y planean contar con las disposiciones necesarias en el futuro.

Los sistemas de alivio de presión son necesarios para proteger a los equipos que operan bajo presión y que pueden generar impactos ambientales a causa de la descarga no controlada hacia la atmósfera. Aunque la presión de la cavidad no sea excesiva, es importante que toda despresurización se realice de forma que no extinga la reacción ni se colapse o inunde la cavidad. Como tal, el sistema de alivio de la presión debe estar diseñado y operado de manera independiente al resto de los controles del proceso de UCG.

Conclusiones

El ISP concluyó que la industria de la UCG debe implementar las mejores prácticas internacionales y sistemas de control avanzados (LOPA 3 a 6) de la industria del petróleo y el gas y la petroquímica.

Además, el ISP agrega que los controles de proceso básicos deben adoptarse como primera línea de monitoreo.

5.4.1.4 Sistemas de protección física

Los sistemas de protección física se usan para mitigar la gravedad de una posible situación de riesgo y evitar su intensificación. Estos incluyen sistemas como muros de contención alrededor de los tanques y cortinas cortafuegos. En varias ocasiones, durante las pruebas piloto de ambos promotores de UCG, se han implementado disposiciones inadecuadas para la contención de los separadores, del agua de producción y los olores y del líquido de producción. En una oportunidad, cuando los separadores se desbordaron o hubo roturas en las tuberías, los derrames fluyeron directamente al suelo o a fuentes de agua locales. En otra ocasión, Linc Energy y Carbon Energy han recibido quejas de propietarios locales por olores molestos.

Se dio respuesta adecuada a estos problemas una vez que se investigaron los incidentes, pero esto pone de relieve una vez más que la mayoría de los riesgos de la UCG se han gestionado luego del incidente en cuestión.

El ISP está al tanto de que puede haber migración de gases de fuerte olor, y que el grado de transporte dependerá de la gestión específica del sitio y de las condiciones climáticas locales.

Por lo tanto, es necesario establecer una zona más allá de la cual no deben detectarse gases olorosos derivados. El Gobierno debería desarrollar pautas basadas en las pruebas cuanto antes sea posible, y la distancia establecida debe ser adecuada a las condiciones meteorológicas del sitio según se hayan constatado mediante la modelación o según las regulaciones de la licencia ambiental del sitio.

Conclusión

El ISP concluyó que es necesario contar con sistemas de protección física y que estos deben incluir detección de gases inflamables y tóxicos, áreas de contención para el exceso de agua o líquidos de producción y sistemas de protección contra incendios.

5.4.1.5 Respuesta de emergencia en la comunidad y en la planta

Cada sitio es único en términos de características geográficas, demarcaciones y puntos de acceso. Por ello, estos planes deben desarrollarse en consulta con los organismos de regulación e instituciones locales correspondientes, según las mejores prácticas internacionales y los estándares industriales adecuados.

Conclusión

Los planes de respuesta de emergencia en la comunidad y en la planta deben desarrollarse en consulta con los organismos de regulación y e instituciones locales correspondientes, según las mejores prácticas internacionales y los estándares industriales adecuados.

5.4.2 Otros modos de operación - Interrupción temporal y reinicio

La interrupción temporal y la subsiguiente puesta en marcha o reinicio son fases importantes en cualquier proceso industrial y pueden deberse a un mantenimiento programado o no programado de equipos directamente relacionados con la operación de UCG. El lapso de tiempo de la interrupción temporal puede ser corto (de 1 a 3 días) o medio (algunas semanas), según el alcance del trabajo por realizarse. Los problemas vinculados a la interrupción temporal y el reinicio de un panel de UCG en funcionamiento son muy similares a los que se presentan en las fases de *commissioning* inicial y desmantelamiento final. Los periodos largos de interrupción temporal pueden dar lugar a una reducción de la temperatura de la cavidad al punto que la pirólisis del carbón se volvería una constante. En estas condiciones, aumenta la producción de contaminantes.

Prueba piloto: problema y lección aprendida

Un motivo de preocupación es si la interrupción temporal hace que se extinga la reacción de UCG. Esta sería la hipótesis menos favorable, que posiblemente impida la nueva puesta en marcha de la operación o traiga aparejados riesgos inaceptables (fallas repetidas en la reignición y potencial explosión).

Las dificultades tienen que ver con el tamaño de la cavidad y la falta de un diseño que se adapte a tal circunstancia.

El ISP determinó, a partir de los informes sobre las pruebas piloto, que las compañías han aprendido cómo actuar con éxito ante interrupciones temporales que duran de varios días a varias semanas, tiempo en el cual se ha logrado mantener la reacción como viable. Posteriormente, se pudieron reiniciar los paneles sin que ocurrieran incidentes.

Recomendación específica n.º 3

Si se ha extinguido la reacción de UCG, entonces debe procederse a reiniciar la operación del panel según los protocolos de riesgo previamente definidos. Si se considera que la nueva puesta en marcha es inaceptable, se procederá directamente al desmantelamiento y la rehabilitación.

5.5 Desmantelamiento

La secuencia de desmantelamiento es un proceso importante que va desde la plena producción hasta la rehabilitación del sitio. La secuencia de cierre final de un panel de UCG es compleja y requiere de un periodo de tiempo mediano a largo. Esta etapa es diferente de las interrupciones temporales que se tratan en la sección 5.4.2 porque el objetivo es extinguir la reacción y conseguir que los materiales que rodean la cavidad final estén en equilibrio térmico con la veta de carbón circundante y los estratos suprayacentes y subyacentes. El ISP aconseja adoptar un enfoque de desmantelamiento, en lugar de 'cierre'. Esto es análogo al método de *commissioning* basado en los riesgos, que se recomienda para la puesta en marcha e ignición.

Necesariamente, en la cavidad se debe dar un proceso de transición en el que las temperaturas de gasificación finalmente adopten las de las condiciones

circundantes. Un segundo cambio de estado importante tiene que ver con la presión. A medida que la cavidad se enfría y se suprime la gasificación (en especial, por la reducción en el suministro de oxígeno), la presión interna disminuye, lo cual es una clara desviación en las condiciones operativas normales. La tasa de disminución de la presión es importante, algo variable y depende de las condiciones dentro de la cavidad.

La alta probabilidad de formación de químicos potencialmente contaminantes (por ejemplo, benceno, tolueno, xileno [BTEX], fenoles, varios hidrocarburos aromáticos policíclicos [PAH] y otros hidrocarburos) es inherente a la etapa de enfriamiento. Ello es resultado de la continua pirólisis del carbón a temperaturas entre 250 C° y 700 C°, que favorecen su formación, de modo que, cuando se enfría la cavidad del reactor, inevitablemente se producirán estos elementos químicos indeseados. Carbon Energy y Linc Energy han destacado adecuadamente estos químicos y sus propiedades. También demostraron capacidad para detectarlos y medirlos.

El ISP ha revisado la literatura sobre ensayos en otras partes del mundo, y uno de los promotores presentó una revisión propia de la literatura disponible. En la experiencia estadounidense hay pruebas razonables de que pudo haberse logrado una cavidad limpia. Para más información sobre el concepto de "cavidad limpia" puede consultarse la literatura disponible. El Gobierno debería solicitar a la compañía extranjera en cuestión la bibliografía relativa a la revisión de la literatura.

El ISP ha visto una muestra de roca obtenida de una de las pruebas piloto en Estados Unidos. El examen de la mineralogía de esa muestra sugiere una vía de enfriamiento. Es responsabilidad de las compañías diseñar y efectuar muestreos similares en las dos pruebas piloto. Si esto no es posible, entonces la tecnología de UCG posee un nivel de incertidumbre significativamente mayor del que tendría si se hiciera un análisis mineralógico y químico directo sobre el material remanente en la cavidad. La identificación de los sólidos y líquidos que quedan en la cavidad permitiría un mayor nivel de certidumbre para la modelación del transporte de contaminantes.

Es responsabilidad de las compañías diseñar regímenes de muestreo o medición adecuados para monitorear la limpieza de la cavidad. Por lo tanto, el ISP considera que compete a las compañías resolver con el Gobierno los problemas relativos al cumplimiento de dichos regímenes. Si no es posible demostrar que se logra una "cavidad limpia", entonces la tecnología no tiene un diseño lo suficientemente apto para considerarla segura.

Carbon Energy y Linc Energy proponen un enfoque de "autolimpieza" para la fase de desmantelamiento (aunque ambos también señalan la posibilidad de tener que realizar una limpieza activa de la cavidad si fuera necesario). En esas condiciones hipotéticas, la menor presión en la cavidad es ventajosa puesto que una zona local de baja presión toma agua subterránea de todas las direcciones hacia la cavidad. Y esto es importante porque toda sustancia química residual de la zona activa (o más allá) que no se absorbe en el carbón en principio es descargada en la cavidad. El calor residual en la cavidad vaporiza el agua y los contaminantes que luego se llevan a la superficie para manipularlos y tratarlos según corresponda. En principio, se trataría de un proceso interesante si puede demostrarse en la práctica en cavidades extensas, con contenido parcial de escombros y con gradientes térmicos significativos debido al tamaño de la cavidad y al tiempo de duración de la gasificación en ese panel.

Prueba piloto: problema y lección aprendida

Tanto Carbon Energy como Linc Energy proponen un diseño de sistemas de paneles de varios cientos de metros de longitud y decenas de metros de ancho, y con una altura considerable (según la veta de carbón, pero por lo general del orden de los 10 m). Hasta la fecha de publicación del presente informe, no hay pruebas sobre la capacidad de controlar los cambios de temperatura y presión en cavidades tan extensas dado que no se ha completado ninguna cavidad de tales características. Los paneles que están operando Linc Energy y Carbon Energy son la mejor oportunidad hasta la fecha para investigar estas cuestiones importantes. La exploración de otras cavidades pequeñas no es adecuada, puesto que se toman analogías de experiencias en el extranjero que tienen diseños diferentes (y además, cavidades pequeñas). No es posible demostrar que la "autolimpieza" es

efectiva en una cavidad extensa hasta que haya una cavidad de esas características en la que pueda realizarse el monitoreo necesario.

Linc Energy y Carbon Energy han aprendido cuáles son las capacidades necesarias de monitoreo y medición para demostrar si es viable la autolimpieza, pero a la fecha no existe una cavidad adecuada sobre la que pueda practicarse una demostración convincente del enfoque propuesto. Las demostraciones realizadas en las cavidades pequeñas actuales han sido poco convincentes (el acceso a las cavidades parece ser un problema de diseño de difícil resolución).

Conclusión

Durante las pruebas piloto se han cerrado varias cavidades (algunos paneles) y están en distintas etapas de desmantelamiento y, supuestamente, rehabilitación. Sin embargo, la información recopilada o provista sobre el desmantelamiento durante las pruebas piloto ha sido insuficiente. Esta no contenía un modelo formal del proceso, balance de masa y energía ni soporte de datos adecuado. Recurrir a proyectos análogos en otros países es insuficiente. Por lo tanto, el ISP considera que al momento no se han desarrollado al máximo las mejores estrategias.

5.5.1 Información y riesgos no identificados sobre el panel y la cavidad

Ni Carbon Energy ni Linc Energy han proporcionado información suficiente sobre la modelación operativa (que incluye morfología y crecimiento) ni el desmantelamiento de sus cavidades anteriores o paneles en funcionamiento, de modo que el ISP no puede llegar a una recomendación respecto de la seguridad que se emplea.

El Panel decidió no revisar los procesos operativos, sino poner el foco en la determinación de riesgos y la información general de respaldo.

La información provista por Carbon Energy sobre la morfología y el tamaño del panel no fue concluyente. Un informe de una de las firmas (Apéndice J) determinó que una nueva técnica puesta a prueba para mapear el panel desmantelado 1 resultó satisfactoria. Sin embargo, no figuraban las escalas de los diagramas ni se

describía la codificación por colores de la información espacial, lo cual hace que el análisis independiente y la verificación por parte del ISP sea prácticamente imposible. De hecho, una interpretación posible de la información es que la morfología de la cavidad no resultó ser la esperada. Es decir, la cavidad presenta una forma toroidal, posiblemente debido al colapso de los escombros en el centro de una cavidad más esférica. Además, también se detecta un espacio vacío detrás del punto de ignición, contrario a lo que se esperaría. El ISP concluyó que Carbon Energy no hubiera presentado esa información si esta interpretación fuera correcta, ni la hubieran destacado ellos mismos. En consecuencia, el ISP no concuerda con el informe en cuanto al éxito de la técnica aplicada a la UCG y recomienda a Carbon Energy reevaluar la información o emplear otra técnica en este aspecto tan importante de la gasificación subterránea.

La composición de la cavidad posterior a su operación es importante para definir las estrategias de desmantelamiento y rehabilitación.

Una cavidad final podría contener lo siguiente:

- a. escombros del carbón gasificado (ceniza y alquitrán), estratos de sobrecarga colapsados, estratos intermedios y estratos de carga subyacente perturbados; o
- b. agua subterránea con una serie de componentes propios de esta, por ejemplo, sales y productos de la gasificación y la pirólisis; o
- c. syngas mezclado con aire y gas de la veta de carbón (metano y dióxido de carbono); o
- d. una combinación de todos los contenidos anteriores.

El ISP considera que la combinación (d) de todos los contenidos mencionados es la más probable y que la mezcla de gas y los componentes del agua podrían variar con el tiempo.

En su informe de desmantelamiento, Linc Energy presentó un modelo (parcial) (véanse los diagramas L4 y L6). Este reconoce que los estratos de sobrecarga y de carga subyacente se ven comprometidos por el proceso de gasificación y que la

cavidad final incluye "estratos de sobrecarga alterados por presencia de escombros". El ISP sugiere que se estudien con mayor detalle las variables del marco propuesto y se formalicen en un modelo conceptual de ingeniería. Este debe incluir un conjunto de ecuaciones de referencia que puedan usarse como base para expresiones referidas al contenido probable de la cavidad y una conversión adecuada de 2D (como en los diagramas) a 3D (como en las cavidades reales). Un modelo así será clave para tener seguridad de que la compañía sabe a qué se enfrenta. Sin ello, las cantidades relativas de agua, ceniza, alquitrán, escombros y gas son especulativas y por tanto no pueden elaborarse con seguridad modelos de balance de masas ni modelos de predicción dinámica de adsorción o movimiento de agua. Esto también serviría de base para completar el panorama de la cavidad porque las mediciones siempre son una fuente de información parcial para llegar al nivel de certidumbre necesario que asegure que se ha logrado una cavidad limpia.

El Apéndice J del informe de Carbon Energy concluye que el mejor modelo para describir los contenidos de la cavidad es el que indica que está "llena de escombros"; significa que es probable que la cavidad quede mayormente llena de material proveniente de los estratos de sobrecarga colapsados. A modo de comparación, Linc Energy presentó una visualización de la "zona afectada por el material o MAZ (por su sigla en inglés)" del gasificador 3. En dicha visualización quedó claro que tanto los estratos de sobrecarga como los de carga subyacente eran parte de la zona, aunque no se pudo distinguir entre lo que quedó intacto y lo que estaba simplemente alterado. Es decir, la zona afectada por el material se extendía por arriba y por debajo de los mantos de carbón y por tanto la integridad de los estratos de sobrecarga y los subyacentes estaban afectados por el proceso de UCG, en concordancia con el marco conceptual presentado por Linc Energy. Sorpresivamente, en el informe de desmantelamiento de Linc Energy no se hizo referencia alguna a esta cuestión. Teniendo en cuenta que Carbon Energy concluyó que su cavidad posiblemente esté llena de escombros es difícil creer que la cavidad de Linc Energy no contenga material colapsado de la sobrecarga (como fue indicado en su modelo conceptual).

Respecto de los primeros gasificadores, el proceso utilizado para confirmar que se ha detenido la combustión del carbón tras el desmantelamiento fue el monitoreo de la composición del gas producido. Hay tendencias muy claras que indican el cierre del proceso de gasificación. Entre estas se incluyen la disminución de concentraciones de CO, CO₂ y N₂ (monitoreadas en el sitio) y de CH₄ al nivel de referencia. La pirólisis cesará cuando se corte el suministro de aire/O₂.

Una vez que se elimine el suministro de oxígeno en todos los sitios geológicamente relevantes, la combustión se detendrá y el fuego se extinguirá. Esto no es así en los incendios subterráneos. Por ejemplo, en Jharia, India, ha habido un fuego de carbón que ardió bajo tierra durante unos 100 años a pesar de los intentos de extinguirlo mediante el uso de nitrógeno. La incapacidad de extinguir la combustión se relaciona con la de cortar el suministro de oxígeno mediante los pozos de ventilación, la gran cantidad de minas a cielo abierto y socavones viejos que hay en el área. En comparación, no puede ocurrir la combustión espontánea en las operaciones de UCG una vez que se ha removido todo suministro de oxígeno.

En los gasificadores actuales de Carbon y Linc no se ha completado el desmantelamiento, de allí la recomendación de que se continúe con los ensayos de desmantelamiento (Recomendación general n.º 2). Hacia el final de esa fase debería ser posible emitir una afirmación definitiva respecto del cese de la combustión. Todas las pruebas indirectas de que se dispone al momento indican que la quema de carbón (pirólisis y gasificación) se detuvo poco después de terminada la inyección de aire u oxígeno.

La información del entorno provista por Carbon Energy y Linc Energy indicó que la formación Springbok Sandstone que se encuentra sobre los mantos de carbón contiene pequeños acuíferos discontinuos intercalados con acuicludos secos (lentejones a través de los cuales el agua no puede moverse o se mueve lentamente de modo que es irrelevante). Carbon Energy y Linc Energy indicaron que ningún acuífero se encuentra directamente sobre sus paneles reactores y que la formación

de shale Springbok Sandstone es un sello eficaz contra el egreso de gas desde la cavidad. Sin embargo, si la cavidad posgasificación contiene escombros al menos en parte, como planteó Carbon Energy, como sugiere el modelo conceptual de Linc Energy y posiblemente la visualización MAZ, y como fue aceptado por el ISP, entonces es razonable que los escombros provengan de los estratos de sobrecarga. Esto implica la posibilidad de que la integridad del sello se vea comprometida. Es importante que se identifique este riesgo y se articulen los controles adecuados, sobre todo teniendo en cuenta que el paso a la escala comercial y las cavidades más extensas aumentarían este riesgo. Es decir, aumenta la probabilidad de que a lo largo de varios cientos de metros se formen vías de migración del gas como resultado del colapso del techo de la cavidad.

También se genera un segundo riesgo relacionado con la integridad hidrológica final de la cavidad. Ambas compañías han resaltado que el material seco por sobre la cavidad es una ventaja porque el ingreso de agua a la cavidad no es importante en términos de la mezcla de oxígeno y agua ni tiene la capacidad de drenar acuíferos suprayacentes en operaciones comerciales. Sin embargo, ninguna de las dos compañías menciona el riesgo de que la falta de integridad del techo de la cavidad pueda ser una vía de escape para el agua contaminada puesto que la presión del agua subterránea original en los mantos de carbón se restablece después del desmantelamiento (la altura hidráulica local está sobre el nivel de la parte superior de la cavidad). Dado que los estratos de sobrecarga no tienen el carbón activado ni el carbón circundante necesario para adsorber contaminantes (tratado en detalle en la sección 3.5.3), se trata de una vía potencial para que estos sean transportados hacia el medio circundante.

Ninguno de los informes de las compañías contenía datos que indiquen que los gases han sido dirigidos hacia la superficie. Deben examinarse todas las vías posibles, incluso las infraestructuras de pozos y las superficiales para determinar posibles fuentes de cualquier tipo de gas.

Por lo tanto, el ISP concluyó que para que la UCG sea segura en la práctica el riesgo de pérdida de integridad de los estratos de sobrecarga no debe suponer ninguna amenaza ambiental. En principio, la manera más sencilla de asegurarlo sería llevar a cabo la gasificación a una profundidad considerable (según las recomendaciones de la sección 5.2). Una alternativa sería demostrar que el estrato que se encuentra sobre la sobrecarga directa sea compacto, y no un acuífero, y que permanezca intacto después de la gasificación. Para ello, no hay sustituto de la medición directa acompañada de un sólido modelo numérico del sistema.

5.5.2 Activación del carbón y adsorción de contaminantes

Carbon Energy y Linc Energy presentaron información sobre la importancia del carbón como medio de adsorción de los productos de la gasificación; esto puede ayudar a reducir los riesgos durante el desmantelamiento. Linc Energy presentó isothermas de adsorción para el carbón, que ha sido térmicamente alterado bajo condiciones de ensayo en laboratorio. El ISP señala que el informe académico presentado sobre este asunto¹³ tenía una importante nota de exención de responsabilidad respecto de lo inadecuado de utilizar resultados experimentales para interpretar el comportamiento del carbón en un gasificador real (aunque dentro del informe parecía haber una afirmación contraria). Aun así, el ISP considera que el calentamiento en laboratorio no es un sustituto de una muestra de carbón obtenida de una pared en una cavidad real porque la complejidad de las condiciones de alteración es mayor que la de los efectos térmicos por sí solos.

Ninguna de las compañías ha intentado comparar la probable capacidad de adsorción de la pared de la cavidad desmantelada con la probable producción de contaminantes. Esa información es relevante y le hubiera demostrado al ISP si es esperable o no que se equilibren la carga contaminante y la capacidad de adsorción. Tanto Carbon Energy como Linc Energy presentaron modelos simplificados o resultados iniciales que indicaron que la descarga visible de contaminante quedaría

13 N. de las T.: La versión pública de este informe no incluye la bibliografía.

circunscrita a unos cientos de metros de la cavidad, incluso en la peor de las situaciones hipotéticas. Sin embargo, dada la falta de conocimiento sobre el perfil final de contaminación; el volumen, morfología y composición de la cavidad; la cantidad de agua que se extraerá para su tratamiento y los flujos de agua subterránea alterada, el ISP no puede aceptar estas conclusiones sin una evaluación más rigurosa (en múltiples condiciones de la cavidad) por parte de los promotores de UCG.

Las pruebas sobre la efectividad del desmantelamiento deben ser exhaustivas e incluir:

1. Un flujo de proceso exhaustivo, detallado y organizado en pasos para la etapa de desmantelamiento, que pueda demostrar sin lugar a dudas que un panel completado (según se prevé en la tecnología propuesta por ambas compañías) es limpio y ambientalmente seguro en el largo plazo.
2. Un modelo/marco conceptual para el desmantelamiento que incluya todos los flujos materiales y de energía.
3. Modelos numéricos validados e información complementaria para el proceso de desmantelamiento. Esto debe incluir al menos:
 - a. Estimaciones convincentes en 3D de la morfología y el tamaño de las cavidades existentes;
 - b. Información sobre las propiedades materiales de las paredes de las cavidades existentes (veta de carbón, estratos de sobrecarga y estratos subyacentes):
 - c. Estimaciones de balance de masa de cargas contaminantes basadas en mediciones;
 - d. Estimaciones de carga contaminante y capacidad de adsorción del carbón "activado" y circundante, es decir, la conjunción de isothermas calculadas y la capacidad de adsorción y carga de la cavidad llena de agua;

- e. Mediciones de contaminantes críticos y balances de masa del agua, sus componentes y contaminantes de alquitrán que salen de la cavidad a través del pozo de producción.

Conclusión

Para los paneles que se encuentran operativos, Carbon Energy y Linc Energy deberían fijar procedimientos integrados de cierre y limpieza con el fin de establecer las mejores prácticas internacionales para el desmantelamiento de una cavidad de UCG.

Recomendación específica n.º 4

No deberían encenderse más paneles hasta que se demuestre inequívocamente la seguridad ambiental a largo plazo como resultado de un desmantelamiento efectivo. Las pruebas sobre la efectividad del desmantelamiento deben ser exhaustivas.

5.6 Rehabilitación

Más allá de definiciones generales tomadas de la industria de la minería, los informes piloto brindaron poca información sobre la rehabilitación. Por lo tanto, aún resta analizar esta fase del ciclo de vida y no pueden emitirse conclusiones sobre la idoneidad de los procesos.

Recomendación específica n.º 5

Las compañías deberían proponer, poner a prueba y establecer de inmediato procesos y resultados aceptables y acordados para la rehabilitación.

6. Gas de veta de carbón y gasificación subterránea del carbón

Se planteó ante el ISP el tema de la superposición en los regímenes de explotación del gas de veta de carbón (CSG, por su sigla en inglés) y la UCG. El problema principal es que para la extracción del CSG la presión de agua subterránea debe reducirse para que el metano pueda ser desorbido del carbón y llegue a los puntos de extracción. En cambio, para la UCG las presiones hidrostáticas deben mantenerse a un mínimo valor para asegurar que el crecimiento de la cavidad sea controlable y los contaminantes no logren escapar al medio circundante. Desafortunadamente, la presión mínima de la desorción del metano está por debajo de la requerida para mantener un gasificador de UCG.

La interacción entre el CSG y la UCG tiene consideraciones legales y de políticas. El ISP considera que no es su competencia determinar la situación legal respecto de las obligaciones sobre presión del agua en la legislación actual. No obstante se observa lo siguiente:

El ISP reconoce tres situaciones que deben tenerse en cuenta respecto de la interacción entre CSG y UCG.

1. Los pilotos actuales de UCG aprobados y la extracción aprobada de CSG se superponen. Es necesario que el Gobierno determine si las actividades aprobadas de CSG pondrán en riesgo la capacidad de las pruebas piloto de UCG de demostrar el desmantelamiento eficaz. De ser así, deberá llegarse a una resolución en cuanto a la presión del agua subterránea y el posible transporte de contaminantes desde las cavidades de UCG.
2. UCG potencial y CSG aprobado: el ISP considera que en los casos en los que existe conocimiento previo de que el CSG reducirá la presión del agua subterránea, toda actividad de UCG propuesta debe incluir una estrategia de riesgos para controlar la presión necesaria del agua subterránea que haga segura la operación.

3. Nuevos emplazamientos: se necesitan políticas ante situaciones futuras de ese tipo.

En el más largo plazo, debería reconocerse que los recursos de la UCG pueden quedar estériles por la despresurización del agua subterránea hasta su recarga, lo cual puede llevar varias décadas.

Prueba piloto: problema y lección aprendida

El ISP considera que no es técnicamente riguroso recomendar una distancia de seguridad. La distancia entre cualquier gasificador activo de UCG y el CSG más cercano será controlada según los detalles de la profundidad del gasificador y las condiciones de presión, además de la tasa de inyección de agua requerida para cumplir con la presión mínima necesaria para operar.

Un asunto clave es si se puede responsabilizar a la operación de UCG por la condición operativa crítica de la presión hidrostática. Linc Energy presentó información sobre pruebas de control de la presión de agua local usando pozos de inyección. Carbon Energy no brindó ninguna información sobre el diseño o ensayo de una tecnología apropiada de control de agua subterránea. Sin embargo, la determinación de riesgos que realizaron Carbon Energy y R4Risk indicó que el uso de pozos de inyección para controlar la presión local del agua subterránea fue una medida de mitigación del riesgo para operaciones multipanel.

Queda claro que ambas compañías han aprendido las ventajas potenciales de ser responsables del control de la presión hidrostática. Aún resta demostrar el control mediante la creación de una cortina de pozos de inyección. El ISP señala que la industria del CSG genera una coproducción de agua que debe desecharse, y la UCG sería un destino posible.

Recomendación específica n.º 6

El ISP recomienda que toda operación de UCG debe ser autorizada solo si se hace responsable del mantenimiento y control de todas sus condiciones operativas, tomando en cuenta las condiciones del sitio al momento de su aprobación, entre las que se encuentran el mantenimiento de la presión del agua subterránea.

7. Marco normativo

El marco normativo establece los criterios para la aprobación de instalaciones de UCG, estipula los requisitos de monitoreo y guía las prioridades operativas, además de impulsar la investigación del sitio. Para satisfacer el objetivo de la legislación actual y de los organismos que la gestionan, es necesario asegurar que se han identificado y comprendido las leyes y otros instrumentos de gobernanza que rigen la exploración y explotación del carbón y las operaciones de una planta de UCG.

En Queensland, la solicitud de permiso para una planta de UCG se tramita de conformidad con la Ley de Recursos Minerales de 1989 (MRA, según su sigla en inglés) y la Ley de Protección Ambiental de 1994 (EPA, por su sigla en inglés). Si bien la MRA y la EPA rigen de manera más directa la autorización y regulación de una planta de UCG, hay otros instrumentos legislativos (referidos a patrimonio cultural y derecho indígena) que regulan su aprobación y operación.

La mayoría de las leyes pertinentes son aplicables en todos los aspectos de las actividades relacionadas con la minería. Estas se enumeran más abajo;¹⁴ el promotor de UCG debe comprenderlas y respetarlas. Sin embargo, algunas leyes pueden prestarse a confusión o ser malinterpretadas, mientras que otras se consideran de especial relevancia para la actividad de UCG. Dichas leyes estarán detalladas en esta guía.

Debe señalarse que entender el objetivo de la legislación pertinente y solicitar aclaración cuando sea necesario facilitará el mejor desempeño, la solución creativa de problemas, el cumplimiento de lo establecido por las autoridades de regulación y generará un enfoque proactivo y no reactivo cuando se trata de solucionar los problemas que se presentan.

¹⁴ N. de las T.: La versión pública disponible no cuenta con los anexos mencionados.

7.1 Observaciones sobre políticas y gobernanza

La legislación pertinente puede contener definiciones contradictorias o confusas. Un ejemplo importante es el propio syngas, que según la legislación petrolera es petróleo y según la Ley de recursos minerales de 1989 es un mineral.

Es decir, puede existir competencia superpuesta entre la Ley de Petróleo y Gas (Producción y Seguridad) de 2004 y la de recursos minerales de 1989. Deben revisarse las disposiciones legislativas sobre derecho al agua subterránea (por ejemplo, el proceso de deshidratación). Otro ejemplo significativo es que los parámetros operativos en la veta de carbón para el CSG son incompatibles con los de la UCG. Donde se superpongan dos disposiciones distintas para el petróleo y la minería, y los mecanismos legislativos sean complejos y la toma de decisiones se dificulte, deberá necesariamente estudiarse cada caso por separado. De igual modo, la legislación puede hacer responsables a ciertos operadores por los cambios en el agua subterránea que en última instancia son controlados mediante otros procesos de decisión relativos a un desarrollo diferente. Por ejemplo: la deshidratación para una mina de carbón aprobada puede causar cambios en la presión del agua subterránea, por los cuales se podría responsabilizar a una compañía de CSG, pero que impactan a un operador de UCG.

La UCG es una tecnología relativamente nueva en Australia y no se practica de manera extendida en el mundo. No es fácil acceder al conocimiento y la experiencia profesional. Si la industria de la UCG puede demostrar seguridad ambiental y aceptación por parte de la comunidad garantizando la viabilidad económica, su futuro establecimiento requerirá de un importante apoyo gubernamental y técnico. En la actualidad es un desafío para el Gobierno desarrollar políticas y para los reguladores, ser tan eficaces como podrían porque la base de conocimientos es limitada. Sumado a lo anterior, es poca la investigación realizada por otros actores más allá de las compañías. Es necesaria la investigación independiente para asegurar una amplia confianza en las respuestas

que aún quedan por darse, sobre todo en cuanto a la UCG como actividad comercial. La investigación también es el punto de partida para que una institución educativa terciaria pueda capacitar a la fuerza laboral necesaria para esta nueva industria. El Gobierno debería establecer dos nuevas entidades para asegurar que si es aceptable iniciar una industria de UCG, esta pueda recibir apoyo en los niveles necesarios y así tener las mejores posibilidades de ser viable desde el punto de vista ambiental, social y económico.

El Gobierno necesita contar con la competencia y capacidad para responder ante los problemas relacionados con una posible industria de la gasificación subterránea. Dados los desafíos que supone el desarrollo de la capacidad interna en un corto plazo, el Gobierno podría considerar la asignación de un Grupo consultivo independiente de análisis y evaluación de UCG¹⁵, compuesto por especialistas con conocimientos sobre (a) la ciencia del proceso de UCG, (b) sobre la predicción de problemas que pudieran ocurrir y (c) sobre cómo elaborar soluciones para problemas imprevistos. Algunas de las responsabilidades del grupo podrían ser:

- Analizar y monitorear cuestiones ligadas a los riesgos (medioambiente, seguridad, etc.) de las operaciones de UCG.
- Brindar al Gobierno información de apoyo relativa a políticas, legislación y regulaciones.
- Ser un intermediario neutral entre la industria y el Gobierno.
- Identificar problemas y objetivos de investigación desde una perspectiva de riesgos y solicitar a la red de D+I (desarrollo e investigación, véase a continuación) que elabore posibles respuestas.

Algunas tareas iniciales con las que el grupo puede asistir al Gobierno y la industria son:

15 Para evitar sospechas sobre posibles conflictos de interés, los miembros del ISP proponen que se los excluya de participar del Grupo Consultivo por un periodo de dos años para que no se piense que esta recomendación es un intento del ISP de posicionarse para ocupar un papel consultor en el futuro.

- Elaborar una Política de UCG que refleje de manera adecuada las principales preocupaciones y requisitos del Gobierno.
- Elaborar un conjunto de Guías claramente definidas e inequívocas que contemplen variaciones en las condiciones regionales y locales.

Debería iniciarse de inmediato un programa de investigación y desarrollo, la Red I+D de UCG de Queensland¹⁶, vinculada con el conocimiento internacional. No se prevé que deba garantizarse la disponibilidad de un gran fondo. El objetivo inicial es reunir la capacidad investigativa para que el Gobierno y la industria puedan valerse de una red de expertos. Esta sería una base excelente también para educadores y otros investigadores. Los proyectos podrían financiarse caso por caso según se considere apropiado. Se sugiere que el Gobierno exija a las compañías de UCG, como parte de su licencia, una contribución para el establecimiento del grupo cubriendo costos administrativos y del trabajo en red, que debiera ser de aproximadamente \$1 millón de pesos australianos por año. También se les solicitaría participar en la fijación de prioridades y comunicación de los resultados de las actividades de la red. Se alentaría al Gobierno estadual para que contribuya en especie y luego económicamente a los proyectos a medida que mejore la situación presupuestaria del Estado. También pueden estudiarse una serie de modelos alternativos de obtención de recursos para la red, por ejemplo, esquemas federales para la investigación rural, como la Corporación de Investigación y Desarrollo de Granos, o el Programa de investigación de la Asociación del Carbón (ACARP, según su sigla en inglés), completamente abocados a la industria y financiados por esta.

Recomendación específica n.º 7

El Gobierno debería considerar la creación de dos nuevas entidades para dar apoyo a una industria de UCG de manera de asegurar que posea las mejores posibilidades de ser viable desde el punto de vista ambiental, social y económico.

¹⁶ Para evitar sospechas sobre posibles conflictos de interés, los miembros del ISP proponen que se los excluya de participar de la red de I+D por un periodo de dos años para que no se piense que esta recomendación es un intento del ISP de participar de investigaciones futuras.

1. Grupo consultivo independiente de análisis y evaluación de UCG.

2. Red I+D de UCG de Queensland.

8. Escala industrial (operaciones multipanel)

El ISP quisiera resaltar la falta de datos detallados sobre los paneles para las operaciones multipanel y el paso a escala comercial. Los informes sobre las pruebas piloto muestran que hasta el momento no se ha realizado ninguna operación multipanel. Hasta ahora, los paneles han sido gasificados, en mayor o menor medida, para experimentación y recopilación de información. Si bien es un enfoque adecuado para una prueba piloto, según parece se ha seguido una evolución de diseño ad hoc en lugar de una sistemática. Por lo tanto, no es posible para el ISP evaluar el diseño para la escala comercial:

Resta tratar cuestiones importantes como:

- la hidrogeología alterada a lo largo de un sitio multipanel;
- la relación entre paneles completados (cavidades) y gasificador(es) activo(s);
- el potencial de producción de olores inaceptable de gasificadores múltiples en simultáneo y la subsiguiente necesidad de establecer una distancia de seguridad considerable de los vecinos posiblemente expuestos;
- el diseño multipanel debe evitar la conectividad entre cavidades finales y paneles activos, potencialmente contemporáneos, que ocasionaría:
 - subsidencia inaceptable de la superficie;
 - transporte en agua subterránea de contaminantes y fuego incontrolable por la pérdida de control de las condiciones de oxígeno; y
- la necesidad de inyección externa de agua para mantener la presión hidrostática a lo largo del sitio. Queda claro que las observaciones hechas más arriba sobre los desafíos vinculados con la inyección de agua para mantener la presión hidrostática (véase la sección 5.5) se amplifican considerablemente en operaciones multipanel. Dependiendo del diseño final elegido, puede que sea necesario (y posible) establecer una distancia mínima entre los límites de una instalación de UCG y otras actividades, por ejemplo, el CSG, que necesita de condiciones operativas hidrostáticas diferentes.

Todas estas consideraciones sobre el diseño tendrán consecuencias significativas en la operación multipanel y comercial, el desmantelamiento del sitio y la rehabilitación.

Para la operación comercial multipanel, el ISP considera que también deben tenerse en cuenta plenamente los sistemas críticos (véase la sección 5.4.1.3) durante la fase de diseño. Estos deben incluir sistemas de alivio de la temperatura para el cabezal de pozo (es decir, enfriamiento por agua e inyección de vapor), detección de gas para gases inflamables y tóxicos, contención para el exceso de agua o líquidos de producción y sistemas contra incendios. El ISP reconoce que un sistema adicional de protección física es el establecimiento de una zona activa alrededor de la cavidad, que puede contener niveles de contaminación similares o más bajos en el agua subterránea de los que se encuentran dentro de la cavidad, debido a su estrecha proximidad.

Conclusiones

Los sistemas de protección física para una operación multipanel a escala completa deben incluir sistemas de alivio de la temperatura para el cabezal de pozo, detección de gas para gases inflamables y tóxicos, contención para el exceso de agua o líquidos de producción y sistemas contra incendios.

Deben establecerse zonas de distancia sobre la superficie y bajo tierra como capa final de protección física una vez que se conoce el diseño final del sistema multipanel.

Los promotores de UCG deben establecer procedimientos aceptables y acordados de desmantelamiento antes de pasar a la fase comercial de operación.

Para la operación multipanel es necesario un conocimiento pleno de la geología e hidrogeología del sitio. Deberá llevarse a cabo un diseño sistemático de la operación multipanel antes de comenzar cualquier actividad comercial.

Recomendación específica n.º 8

Una operación comercial debe diseñarse desde el inicio sobre la base de principios bien establecidos, es decir, un enfoque basado en los riesgos en todas las fases del ciclo de vida de una operación multipanel.

Los sitios de Carbon Energy y Linc Energy han sido operados como sitios piloto. Antes de evaluar la posibilidad de iniciar actividades comerciales, se debe contar con un plan exhaustivo de operación multipanel basado en los riesgos.

9. Lista de recomendaciones

9.1 Recomendaciones generales

Recomendación general n.º 1

El ISP recomienda que el Gobierno de Queensland permita a Carbon Energy y Linc Energy continuar con las pruebas piloto actuales con el propósito único y puntual de examinar exhaustivamente si el enfoque de autolimpieza propuesto para el desmantelamiento es seguro para el medioambiente.

Recomendación general n.º 2

El ISP recomienda que se establezca un proceso de planificación y acción para demostrar el desmantelamiento. Un desmantelamiento satisfactorio debe poder demostrar el proceso de autolimpieza o cualquier tratamiento activo que se proponga. Para tal fin:

- 1. Debe elaborarse para el desmantelamiento un plan exhaustivo basado en los riesgos.*
- 2. El Plan debe tener en cuenta que ambas compañías ya han conectado cavidades aptas para realizar la demostración (Linc Energy aún está gasificando);*
- 3. El Plan debe incluir como mínimo un modelo conceptual y modelos numéricos de importancia; una estrategia de muestreo y verificación/validación; fases claves basadas en los eventos que, de ser posible, estén sujetas a periodos de tiempo.*

Se reconocen dos fases importantes:

- a. Muestreo de la zona que rodea la cavidad; y*
 - b. Acceso directo a la cavidad.*
- 4. El Gobierno debe establecer un proceso para determinar la idoneidad de los planes y su implementación.*

Recomendación general n.º 3

El ISP recomienda que hasta que no se demuestre el desmantelamiento según lo establecido en la Recomendación general n.º 2, no debe iniciarse ninguna operación en escala comercial.

9.2 Recomendaciones específicas

Recomendación específica n.º 1

El Gobierno junto con la industria de UCG y un órgano consultivo independiente deben elaborar pautas y normas para la selección del sitio. El ISP recomienda que la selección del sitio sea un proceso precedido y documentado por estudios geológicos adecuados, modelación hidrogeológica y análisis del contexto de la comunidad y el medio ambiente. El criterio de selección de un sitio de UCG se debe basar en estos

análisis, es decir, en caso de que den cuenta de algún factor limitante, no se debe seguir adelante con este sitio.

Recomendación específica n.º 2

El ISP recomienda que, en cada panel que inicie, la industria de UCG adopte un enfoque de "*commissioning*" en vez de "puesta en marcha" o "ignición", independientemente del tamaño o la multiplicidad, a fin de reducir los riesgos asociados con esta fase. El proceso de *commissioning* debe contemplar las mejores prácticas mundiales de gestión de riesgos en las industrias de procesos, tales como el análisis HAZOP, modelo de análisis de fallas, análisis del árbol de sucesos y el análisis LOPA, entre otros, con todos los controles necesarios para minimizar desde el principio todos los riesgos inherentes a las actividades de UCG.

Recomendación específica n.º 3

Si se ha extinguido la reacción de UCG, entonces debe procederse a reiniciar la operación del panel según los protocolos de riesgo previamente definidos. Si se considera que la nueva puesta en marcha es inaceptable, se procederá directamente al desmantelamiento y la rehabilitación.

Recomendación específica n.º 4

No deberían encenderse más paneles hasta que se demuestre inequívocamente la seguridad ambiental a largo plazo como resultado de un desmantelamiento efectivo. Las pruebas sobre la efectividad del desmantelamiento deben ser exhaustivas.

Recomendación específica n.º 5

Las compañías deberían proponer, poner a prueba y establecer de inmediato procesos y resultados aceptables y acordados para la rehabilitación.

Recomendación específica n.º 6

El ISP recomienda que toda operación de UCG debe ser autorizada solo si se hace responsable del mantenimiento y control de todas sus condiciones operativas, tomando en cuenta las condiciones del sitio al momento de su aprobación, entre las que se encuentran el mantenimiento de la presión del agua subterránea.

Recomendación específica n.º 7

El Gobierno debería considerar la creación de dos nuevas entidades para dar apoyo a una industria de UCG de manera de asegurar que posea las mejores posibilidades de ser viable desde el punto de vista ambiental, social y económico.

1. Grupo consultivo independiente de análisis y evaluación de UCG.

2. Red I+D de UCG de Queensland.

Recomendación específica n.º 8

Una operación comercial debe diseñarse desde el inicio sobre la base de principios bien establecidos, es decir, un enfoque basado en los riesgos en todas las fases del ciclo de vida de una operación multipanel.

Los sitios de Carbon Energy y Linc Energy han sido operados como sitios piloto. Antes de evaluar la posibilidad de iniciar actividades comerciales, se debe contar con un plan exhaustivo de operación multipanel basado en los riesgos.

Términos de referencia

Revisión por pares del Informe del Panel Científico Independiente sobre la gasificación subterránea del carbón

Contexto

1. El Gobierno de Queensland nombró un Panel Científico Independiente (ISP) para que lo asistiera en la determinación de la viabilidad técnica y la sustentabilidad ambiental de la gasificación subterránea del carbón (UCG).
2. El 30 de noviembre de 2012, el ISP presentó su informe final (Informe ISP) ante el Gobierno de Queensland.
3. Las tres recomendaciones generales del ISP indican que las pruebas deben continuar por seis meses, aunque en condiciones estrictas, para demostrar con eficacia que el desmantelamiento es seguro y sustentable para el medioambiente. Hasta tanto esto no suceda, no debería iniciarse ninguna operación comercial.
4. El ISP también elaboró ocho recomendaciones específicas adicionales, en su mayoría relacionadas con la operación de una industria de UCG en Queensland.

Revisión por pares

5. El Dr. y profesor adjunto Geoff Garrett, director científico de Queensland, llevará a cabo el proceso de revisión por pares.

Alcance

6. La Revisión por pares se abocará a la revisión del Informe ISP para determinar si las tres recomendaciones generales, las ocho específicas y las conclusiones (además de recomendaciones provisionales) son o no razonables.
7. Esta revisión podría tener como resultado una perspectiva de consenso que a su vez suscite modificaciones o adiciones al Informe ISP.
8. En el desarrollo de estas tareas, se tendrán en cuenta las presentaciones de los promotores de las pruebas piloto y del ISP cuando sean pertinentes para la revisión del Informe ISP.
9. Para llevar a cabo la revisión, el director científico convocará a otros expertos si lo considera necesario. También recibirá el apoyo de un funcionario del Departamento.

El proceso de Revisión por pares también contará, según sea necesario, con expertos técnicos de las compañías involucradas y miembros del ISP.

Objetivo principal

10. Un informe que dé respuesta a los asuntos especificados en la sección 6 de estos Términos de referencia.

Plazo de tiempo

11. La fecha fijada para la presentación del objetivo principal es julio de 2013.