



Proyecto Fin de Máster

10 de julio de 2014

EVALUACIÓN AMBIENTAL DE LOS ALMACENAMIENTOS SUBTERRÁNEOS DE GAS NATURAL

EQUIPO

Díaz Castaño, María Luisa

Busto Méndez, Berta del

Díez González, Silvia

Montalvo García, Adrián

TUTORAS

Cifuentes Valero, Nieves

Suárez Cienfuegos, Patricia



Esta publicación está bajo licencia Creative Commons Reconocimiento, NoComercial, Compartirigual, (by-nc-sa). Usted puede usar, copiar y difundir este documento o parte del mismo siempre y cuando se mencione su origen, no se use de forma comercial y no se modifique su licencia. Más información: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/>

ÍNDICE

PRESENTACIÓN EQUIPO	6
1 INTRODUCCIÓN AL GAS NATURAL	7
1.1 ORIGEN DEL GAS NATURAL	7
1.2 EL GAS NATURAL COMO RECURSO ENERGÉTICO	8
1.3 VENTAJAS DEL GAS NATURAL	8
2 ENTORNO ECONÓMICO DEL GAS NATURAL	10
2.1 EN EL MUNDO	10
2.2 EN EUROPA	10
2.3 EN ESPAÑA	11
3 EL SISTEMA GASISTA EN ESPAÑA	12
3.1 AGENTES DEL SISTEMA GASISTA	12
3.2 SISTEMA GASISTA ESPAÑOL	13
3.3 ALMACENAMIENTO DE GAS NATURAL	15
3.4 EL MERCADO DEL GAS NATURAL	16
4 ALMACENAMIENTOS SUBTERRÁNEOS COMO PARTE ACTIVA DEL SISTEMA	18
4.1 NECESIDAD DE ALMACENAR GAS	18
4.2 MARCO LEGAL	18
4.3 HISTORIA	19
4.3.1 EN EL MUNDO	19
4.3.2 EN ESPAÑA	21
5 PRIMEROS PASOS PARA EL ALMACENAMIENTO SUBTERRÁNEO	23
5.1 CONCEPTOS BÁSICOS DE LOS VOLÚMENES DE GAS DEL ALMACÉN	23
5.1.1 VOLÚMENES DE GAS DURANTE LA FASE DE OPERACIÓN	23
5.1.2 VOLÚMENES DE GAS DEL ALMACÉN EN SU FASE FINAL	24
6 TIPOS DE ALMACENAMIENTOS SUBTERRÁNEOS	25
6.1 FORMACIONES POROSAS	26
6.1.1 ALMACENAMIENTO EN YACIMIENTOS DEPLETADOS	26
6.1.2 ALMACENAMIENTO EN ACUÍFEROS PROFUNDOS	27
6.2 CAVIDADES	29
6.2.1 ALMACENAMIENTO EN CAVIDADES SALINAS	29
6.2.2 ALMACENAMIENTO EN CAVIDADES MINERAS	31
7 FASES DE PROYECTO DE UN ALMACENAMIENTO SUBTERRÁNEO	34
7.1 EXPLORACIÓN	35
7.2 INVESTIGACIÓN	36
7.3 CONSTRUCCIÓN	41
7.3.1 PERFORACIÓN	43
7.3.2 DESARROLLO DE LAS CAVIDADES SALINAS	51

Evaluación ambiental de los almacenamientos subterráneos de gas natural

7.3.3 CONSTRUCCIÓN DE LA PLANTA	53
7.4 FASE DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	54
7.4.1 INSTALACIONES DE SUPERFICIE	54
7.5 DESMANTELAMIENTO	65
8 IMPACTOS.....	66
8.1 CARACTERIZACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES	69
8.2 DESCRIPCIÓN DE IMPACTOS Y MEDIDAS.....	71
8.3 ESTUDIOS PREVIOS: FASE DE EXPLORACIÓN E INVESTIGACIÓN	71
8.3.1 INCREMENTO DEL NIVEL SONORO DEBIDO A LAS TÉCNICAS DE GENERACIÓN DE ONDA EN LOS ESTUDIOS SISMICOS	71
8.3.2 CONTAMINACIÓN POR VERTIDOS DE AGUA SALADA PROCEDENTES DEL ACUÍFERO PROFUNDO, DURANTE LAS PRUEBAS DINÁMICAS	73
8.3.3 BIENESTAR DE LA POBLACIÓN Y OPOSICIÓN SOCIAL.....	75
8.4 FASE DE CONSTRUCCIÓN	76
8.4.1 CONSUMO DE AGUA	76
8.4.2 CONTAMINACIÓN DE LOS ACUÍFEROS POR LOS LODOS DE PERFORACIÓN	78
8.4.3 CONTAMINACIÓN DE AGUA POR VERTIDO DE SALMUERA	79
8.5 FASE DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	81
8.5.1 INCREMENTOS DE LOS NIVELES SONOROS POR LAS INSTALACIONES DE SUPERFICIE	81
8.5.2 EMISIÓN DE GASES DE EFECTO INVERNADERO	82
8.5.3 CONTAMINACIÓN DE ACUÍFEROS POR GAS	84
8.5.4 CONTRIBUCIÓN AL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA GASISTAY A LAS RESERVAS ESTRATÉGICAS DE ENERGÍA	85
9 RIESGO AMBIENTAL	86
9.1 RIESGO DE SISMICIDAD INDUCIDA	89
9.2 RIESGO DE INCENDIO Y EXPLOSIÓN	90
10 COMPARACIÓN DE IMPACTOS POR TIPO DE ALMACENAMIENTO.....	92
11 BIBLIOGRAFÍA	94
ANEXOS	

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<i>Ilustración 1: Proceso de generación de hidrocarburos</i>	<i>7</i>
<i>Ilustración 2: Distribución de reservas, producción y consumo mundial de gas natural (%). ..</i>	<i>10</i>
<i>Ilustración 3: Sistema gasista de transporte en España.</i>	<i>14</i>
<i>Ilustración 4: Almacenamiento subterráneo de gas natural.</i>	<i>20</i>
<i>Ilustración 5: Relación de volúmenes de un almacenamiento.</i>	<i>24</i>
<i>Ilustración 6: Tipos de Almacenamientos Subterráneos de gas.</i>	<i>25</i>
<i>Ilustración 7: Funcionamiento de los almacenamientos subterráneos de gas en medio poroso.</i>	<i>26</i>
<i>Ilustración 8: Almacenamiento en acuífero.</i>	<i>28</i>
<i>Ilustración 9: Almacenamiento Cavidad Salina.</i>	<i>31</i>
<i>Ilustración 10: Cavidad minera.....</i>	<i>32</i>
<i>Ilustración 11: Fases del proyecto de almacenamientos subterráneos de gas natural.</i>	<i>34</i>
<i>Ilustración 12: Campaña Sísmica.....</i>	<i>36</i>
<i>Ilustración 13: Perfil bidimensional de los datos procedentes de una campaña sísmica.</i>	<i>37</i>
<i>Ilustración 14: Testigos.</i>	<i>38</i>
<i>Ilustración 15: Digrafía.</i>	<i>39</i>
<i>Ilustración 16: Esquema de una prueba Dinámica.</i>	<i>39</i>
<i>Ilustración 17: datos obtenidos de la prueba dinámica.</i>	<i>40</i>
<i>Ilustración18: Modelo Geológico.</i>	<i>41</i>
<i>Ilustración 19: Antepozo.</i>	<i>43</i>
<i>Ilustración 20: Balsa de Lodos.</i>	<i>43</i>
<i>Ilustración 21: Sistema de seguridad BOP.....</i>	<i>44</i>
<i>Ilustración 22: Torre de Perforación Auto transportable.</i>	<i>44</i>
<i>Ilustración 23: Torre de perforación.</i>	<i>45</i>
<i>Ilustración 24: Lechada de Cemento</i>	<i>46</i>
<i>Ilustración 25: Tubería de Producción.</i>	<i>48</i>
<i>Ilustración 26: Broca de perforación.</i>	<i>48</i>
<i>Ilustración 27: Revestimiento.</i>	<i>49</i>
<i>Ilustración 28: Dirección de la Perforación.</i>	<i>50</i>
<i>Ilustración 29: Construcción Cavidades Salinas.</i>	<i>51</i>
<i>Ilustración 30: Lixiviación de una cavidad.</i>	<i>52</i>
<i>Ilustración 31: Trampa rascadores de la planta de Serrablo.</i>	<i>55</i>
<i>Ilustración 32: Medidores ultrasonido Serrablo.....</i>	<i>55</i>
<i>Ilustración 33: Turbocompresor Booster de Serrablo.</i>	<i>56</i>
<i>Ilustración 34: Motocompresores a gas de los pozos de Aurin en Serrablo (funcionan por pistones).....</i>	<i>56</i>

Evaluación ambiental de los almacenamientos subterráneos de gas natural

<i>Ilustración 35: Compresor eléctrico alternativo en Yela.</i>	57
<i>Ilustración 36: En el círculo rojo de la imagen vemos el aerorrefrigerador de un turbocompresor de Serrablo.</i>	57
<i>Ilustración 37: Sistema de inyección de metanol en Serrablo.</i>	58
<i>Ilustración 38: Columna de regeneración de metanol en Serrablo.</i>	59
<i>Ilustración 39: Separadores de Serrablo.</i>	59
<i>Ilustración 40: Torres secado Serrablo.</i>	60
<i>Ilustración 41: Regenerador TEG de Serrablo.</i>	61
<i>Ilustración 42: Rack de tuberías de Yela.</i>	61
<i>Ilustración 43: Sistema odorización Serrablo.</i>	62
<i>Ilustración 44: Sistema de seguridad: Venteo (Izq.) y Antorcha (Der.).</i>	63
<i>Ilustración 45: Tanque de metanol en Serrablo.</i>	64
<i>Ilustración 46: Técnicas para la realización de sísmicas: explosivos (Izquierda), camión vibrador (Centro), geófono (Derecha).</i>	71
<i>Ilustración 47: Sísmica con camión vibrador (Izquierda) y con explosivos (Derecha).</i>	72
<i>Ilustración 48: Esquema de una prueba dinámica.</i>	73
<i>Ilustración 49: Necesidad de agua.</i>	76
<i>Ilustración 50: Lixiviación de una cavidad salina. Fuente OilfieldReview 2002.</i>	77
<i>Ilustración 51: Pozo de perforación, en él se pueden observar las distintas secciones de las que se conforma.</i>	78
<i>Ilustración 52: Lixiviación de una cavidad salina. Fuente OilfieldReview 2002.</i>	79
<i>Ilustración 53: Cabina de un compresor, en la parte superior se puede observar el sistema de venteo.</i>	82
<i>Ilustración 54: Esquema metodológico.</i>	87
<i>Ilustración 55: Mapa de fallas del cuaternario activas de España.</i>	89
<i>Ilustración 56: Incendio en una planta de gas.</i>	90

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1: Aumento en el consumo de gas natural en 2013</i>	12
<i>Tabla 2: Almacenamientos en el mundo. International Gas Union (IGU).</i>	21
<i>Tabla 3: Capacidades de los Almacenamientos en España.</i>	22
<i>Tabla 4: Almacenamientos subterráneos %.</i>	25
<i>Tabla 5: Características de los distintos tipos de almacenamientos de gas natural.</i>	33
<i>Tabla 6: Composición de los fluidos de perforación.</i>	47
<i>Tabla 7: Cavidad salina.</i>	53
<i>Tabla 8: Lista de impactos producidos por la realización de un proyecto genérico en tierra, de almacenamiento en subsuelo de gas natural.</i>	66
<i>Tabla 9: Comparativa de impactos en función del tipo de almacenamiento.</i>	92

PRESENTACIÓN EQUIPO

María Luisa Díaz Castaño
Lic. Ambientales
Máster en Ingeniería y
Gestión Medioambiental

marialuisa.diazc@gmail.com



Silvia Díez González
Lic. Química
Máster en Ingeniería y
Gestión Medioambiental

silvia101988@gmail.com

Berta del Busto Méndez
Ing. Agrónoma
Máster en Ingeniería y
Gestión Medioambiental

bertadelbusto@gmail.com



Adrián Montalvo García
Lic. Biología
Máster en Ingeniería y
Gestión Medioambiental

amont33@gmail.com

TUTORAS



Nieves Cifuentes Valero

Lic. Biología

Directora de Medio Ambiente en Gas Natural Fenosa
Engineering



Patricia Suárez Cienfuegos

Ing. Geociencias en Proyectos de Almacenamientos
Dirección de Proyectos de Plantas y AASS en Enagas

1 INTRODUCCIÓN AL GAS NATURAL

1.1 ORIGEN DEL GAS NATURAL

El gas natural es un recurso energético no renovable de origen fósil. Se formó en la ventana geológica comprendida entre 140 a 65 millones de años atrás por medio de la sedimentación de plancton, lutitas y otro tipo de sedimentos orgánicos en lo que aquel entonces eran las grandes cuencas sedimentarias. A lo largo de los años, otro tipo de sedimentos continuaron depositándose dando lugar a diferentes capas geológicas y quedando esta materia orgánica enterrada a grandes profundidades, gobernada por altas presiones y temperaturas.

Desde aquel entonces hasta hoy en día, aquellos sedimentos fueron experimentando una serie de procesos de diagénesis en los cuales se dieron una serie de condiciones adecuadas para la formación del hidrocarburo. Estas son una alta presión y temperatura, un ambiente reductor (ausencia de oxígeno) y la presencia de bacterias anaeróbicas. A la roca donde se genera éste hidrocarburo se la denomina roca madre.

La mayor parte del hidrocarburo formado en la roca madre migra hacia capas más altas de la corteza terrestre hasta quedar atrapado en estructuras geológicas que hacen de trampa, dando así origen a los yacimientos de hidrocarburos. Este proceso se representa en la siguiente figura.

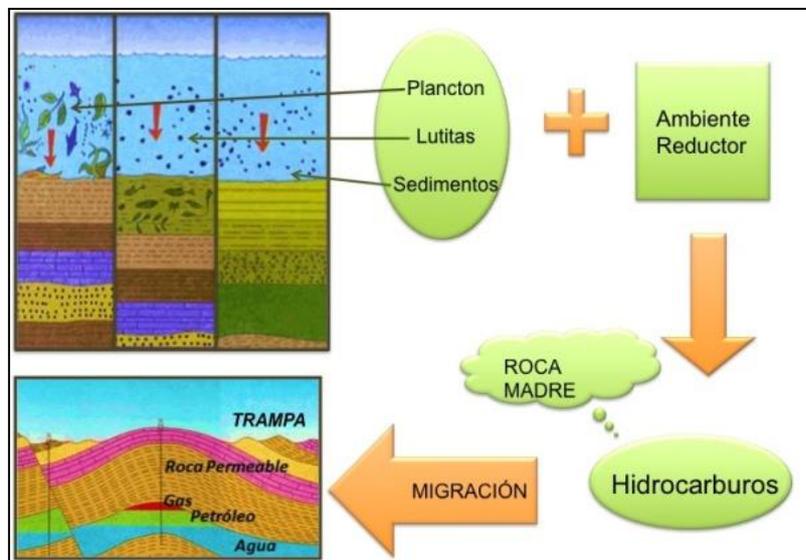


Ilustración 1: Proceso de generación de hidrocarburos

Evaluación ambiental de los almacenamientos subterráneos de gas natural

1.2 EL GAS NATURAL COMO RECURSO ENERGÉTICO

El gas natural pertenece al grupo de las fuentes de energía no renovables, siendo el hidrocarburo más ligero ya que está formado principalmente por metano (cuya fórmula química es, CH_4), y otros gases. Estos gases varían su composición según las condiciones del yacimiento donde se encuentran, predominando: Nitrógeno (N_2), Dióxido de carbono (CO_2), Hidrógeno de Sulfuro (H_2S), Helio (He) y Mercaptanos.

Estos últimos gases, se deben separar del metano en el momento de la extracción del gas natural para alcanzar la pureza requerida para el consumo.

1.3 VENTAJAS DEL GAS NATURAL

El aumento de la implantación del gas natural en España tiene efectos beneficiosos, tanto desde el punto de vista económico como ambiental.

Por un lado, se trata de una **energía competitiva**, ya que el coste del gas natural es muy estable, teniendo una menor oscilación en los últimos 10 años. Para los hogares, una vivienda tipo, de 90 metros cuadrados y con un consumo de 8 MWh anuales, la opción más ventajosa es el gas natural, con un precio de entre 760 y 928 euros al año. Sucede de lo mismo en un hospital, que con un consumo de 10.000 MWh anuales de gas natural pagaría una factura energética cerca de un 50% menos de lo que abonaría con otros combustibles.

Por otro lado, es una energía que **respeto el medio ambiente** puesto que el gas natural es el mejor combustible fósil y el más eficiente. Las emisiones de dióxido de carbono, CO_2 , procedentes de éste son aproximadamente un 40-45% menos que las de carbón y un 20-30% por debajo de las del petróleo, produciendo menor efecto invernadero.

Las consecuencias atmosféricas del uso del gas natural son menores que las de otros combustibles por las siguientes razones:

- La menor cantidad de residuos producidos en la combustión, permite su uso como fuente de energía directa en los procesos productivos o en el sector terciario, evitando los procesos de transformación como los que tienen lugar en las plantas de refino del crudo.
- La misma pureza del combustible lo hace apropiado para su empleo con las tecnologías más eficientes. Tenemos el ejemplo de la generación de electricidad mediante ciclos combinados, la producción simultánea de calor y electricidad

Evaluación ambiental de los almacenamientos subterráneos de gas natural

mediante sistemas de cogeneración, o la climatización mediante dispositivos de compresión y absorción.

- Menores emisiones de gases contaminantes (SO_2 , CO_2 , NO_x y CH_4) por unidad de energía producida.

Es por todo ello que el gas natural ha alcanzado un alto interés a nivel energético similar al del petróleo. En el pasado, el gas natural que aparecía en la mayoría de los yacimientos petrolíferos era quemado a la salida del pozo, tratado como si fuera un residuo. Sin embargo, esta situación fue cambiando con el tiempo al ver una disminución progresiva de las reservas de crudo y un aumento en la demanda de gas natural. Ocasionando al mismo tiempo una mayor búsqueda de extracción de hidrocarburos de los yacimientos.

2 ENTORNO ECONÓMICO DEL GAS NATURAL

2.1 EN EL MUNDO

Durante los últimos años, la demanda de energía primaria a nivel mundial ha ido en aumento debido fundamentalmente a los países en vías de desarrollo, por lo contrario, los países desarrollados han disminuido su consumo con la actual crisis económica mundial. Han sido China e India los países de mayor consumo, dando la oportunidad a países con excedente de gas natural de exportar en esa dirección.



Ilustración 2: Distribución de reservas, producción y consumo mundial de gas natural (%).

Fuente: Sedigas

Observando el mapa anterior de las reservas, producción y consumo mundial de gas natural en los distintos continentes, se observa la necesidad de Europa Occidental de almacenar gas, ya que es el continente que posee una menor reserva y un elevado consumo per cápita. Las áreas con mayores reservas de gas natural se encuentran en los continentes de Oriente Medio y Europa Oriental.

2.2 EN EUROPA

A nivel europeo el Tratado de Lisboa de 2009 fomenta una acción exterior y energética común de la UE. Sin embargo, hasta la fecha, los avances no son todo lo rápidos que el panorama geopolítico y económico mundial requiere. Como se ha comentado anteriormente, potencias emergentes como China e India se alzan como grandes consumidoras de recursos energéticos,

Evaluación ambiental de los almacenamientos subterráneos de gas natural

convirtiéndose en atractivos clientes para las potencias exportadoras, en competencia con la UE.

Los objetivos que se ha planteado la Unión Europea en relación con sus políticas energéticas del sistema gasista, están dirigidos a disminuir la dependencia energética y favorecer la competitividad para el desarrollo económico. Uno de estos objetivos es, construir un mercado gasista liberalizado y competitivo, manteniendo siempre la libertad de acceso y la calidad del servicio. Otro, es el desarrollo sostenible del sistema gasista, ya que el gas es considerado el combustible fósil más limpio, por lo tanto se presenta como el mejor back-up de las energías renovables cuando la demanda no puede ser satisfecha por éstas. El último objetivo impuesto por la Unión Europea, es la seguridad del suministro llevada a cabo por la red gasista Europea Integrada.

2.3 EN ESPAÑA

España depende en su totalidad del exterior en materia energética e importa casi el 100% del gas que consume. Por otro lado, el consumo de gas en España ha vivido un crecimiento espectacular en las últimas décadas. A pesar de ello sigue siendo inferior a la media de la UE. El índice de penetración del gas natural en España es del 28%, frente a la media del 60% de la Unión Europea. Francia (42%), Alemania (48%), Bélgica (80%), Italia (88%) y el Reino Unido (89%) nos llevan una gran ventaja. En la actualidad, el sector gasista representa el 0,5% del PIB de España y genera cerca de 150.000 puestos de trabajo, sumando directos, indirectos e inducidos. Además, el gas natural desempeña un papel destacado en la competitividad industrial, ya que es la palanca que utilizan empresas de todo tipo para ahorrar en su factura energética y para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. De hecho, pese a la crisis de los últimos años, el consumo industrial en 2012 y 2013 ha marcado niveles récord y representa el 64% del total. Se resumen en el gráfico siguiente.

Evaluación ambiental de los almacenamientos subterráneos de gas natural

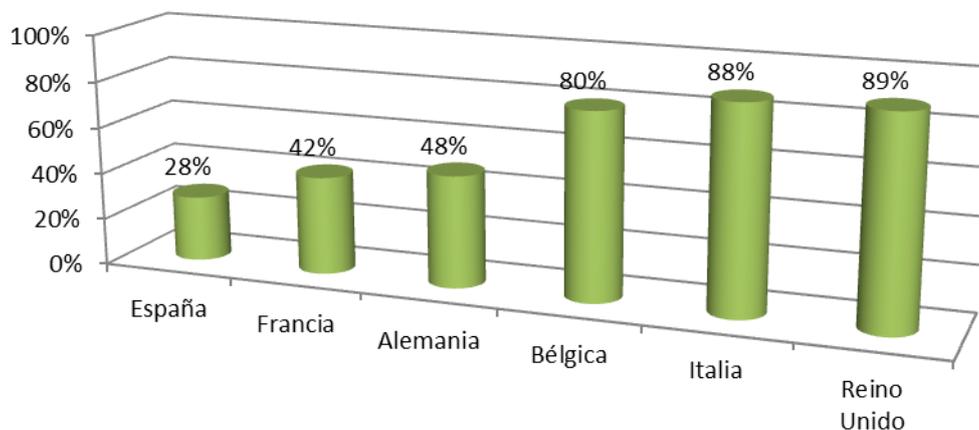


Tabla1: Aumento en el consumo de gas natural en 2013

3 EL SISTEMA GASISTA EN ESPAÑA

3.1 AGENTES DEL SISTEMA GASISTA

El papel de cada uno de los sujetos participantes en el sistema gasista queda establecido en la Ley de Hidrocarburos, siendo los siguientes:

- Los productores son los encargados de realizar la exploración y explotación de los yacimientos de hidrocarburos. España apenas es productora de gas por lo que ha de importar la mayoría de gas de otros países.
- Los transportistas son los titulares de instalaciones de regasificación de gas natural licuado, de licuefacción, de almacenamiento de gas natural en superficie o subterráneo y de gasoductos de transporte con presión mayor de 16 bares.
- Los distribuidores son los titulares de las instalaciones de distribución de gas natural. Siendo los encargados de construir, mantener y operar las instalaciones de distribución, destinadas a situar el gas en los puntos de consumo, y cuya presión máxima de diseño sea igual o inferior a 16 bares.
- Los comercializadores son aquellos agentes que adquieren gas natural en los países de origen y lo traen a España para venderlo a consumidores o a otros comercializadores en condiciones libremente pactadas.

Evaluación ambiental de los almacenamientos subterráneos de gas natural

- Los consumidores de gas son aquellos sujetos que adquieren gas natural para su propio consumo.
- Gestor Técnico del Sistema Gasista que es el transportista titular de la mayoría de las instalaciones de la red básica de gas natural. Tiene la responsabilidad de la gestión técnica de la red básica y de las redes de transporte secundario. Su objetivo es garantizar la continuidad y seguridad del suministro, así como la correcta coordinación entre los puntos de acceso.

3.2 SISTEMA GASISTA ESPAÑOL

En la actualidad, la producción nacional de gas es escasa, por lo que España tiene diversificado su suministro de gas por dos vías de entrada: la mayor parte viene vía gasoductos internacionales y el resto en forma de gas natural licuado. A pesar de que en 2013 se produjo un cambio de tendencia en la distribución de los aprovisionamientos, por primera vez desde el año 2000, la cuota aportada por el gas natural (GN) superó a la del gas natural licuado (GNL). El 54% de las entradas se recibieron en forma de gas natural y el 46% restante en forma de gas natural licuado.

España principalmente se abastece del gas natural vía **gasoductos** mediante seis conexiones internacionales. Estas se citan a continuación:

- Gasoductos Internacionales. Son seis con los cuáles se abastece nuestro país: el de Argelia, Marruecos, dos de Francia y dos de Portugal.

Con Argelia: Durante el segundo semestre de 2009, se puso en funcionamiento la terminal receptora en Almería, el **Medgaz**. Gasoducto submarino entre Argelia y España, contribuyendo de esta manera a mejorar la seguridad de suministro en España y el resto de Europa, ya que Argelia, es el principal suministrador de gas natural para España. Principalmente a través del gasoducto Medgaz pero también a través de buques con gas licuado. Desde Argelia llega el 38% del gas natural que consume España.

Con Marruecos: En 1996 se finaliza el gasoducto del **Magreb**, que atraviesa Marruecos y el estrecho de Gibraltar. Este gasoducto conecta la Península Ibérica con los yacimientos de gas argelinos.

Con Portugal: En Badajoz se encuentra, desde 1996, uno de los puntos de conexión entre las redes de transporte de gas natural española y portuguesa. El otro punto de conexión se sitúa en Tuy (Pontevedra) y comenzó a operar en 1998. En 2012 se incorporó el punto de conexión virtual de Portugal, llamado VIP.PT, que engloba las capacidades de los puntos de interconexión físicos de Tuy y Badajoz.

Evaluación ambiental de los almacenamientos subterráneos de gas natural

Con Francia: En el año 1993 entró en operación el gasoducto **Larrau-Calahorra**, que supuso la primera conexión con la red centro-europea de gasoductos. En febrero de 2013, se unió a las infraestructuras gestionadas la conexión internacional de Irún, que conecta el País Vasco con Francia.

- **Los buques metaneros:** Estos buques alimentan las siete centrales operativas de regasificación de gas natural licuado (GNL). Los buques vienen principalmente de países como Argelia, Noruega, Qatar, Nigeria o la República de Trinidad y Tobago.

Una vez que el gas llega a nuestro país, éste puede ser, transportado y distribuido al usuario o bien almacenado. En España estos almacenamientos son los tanques en superficie o almacenamientos en el subsuelo.

El siguiente mapa muestra la red de transporte del sistema gasista español donde aparecen reflejados tanto los gasoductos, como los almacenamientos en superficie y en el subsuelo.



Ilustración 3: Sistema gasista de transporte en España.

Fuente: CNE

Evaluación ambiental de los almacenamientos subterráneos de gas natural

3.3 ALMACENAMIENTO DE GAS NATURAL

El Gas Natural es un fluido compresible, es decir que cuando se le somete a elevada presión el volumen ocupado disminuye en gran medida. Esta propiedad de compresibilidad hace al gas natural muy adecuado para ser almacenado en grandes cantidades, puesto que al encontrarse bajo condiciones de alta presión el volumen que ocupa es mucho menor que el que ocuparía en el estado de condiciones normales.

Existen dos formas diferentes de almacenar el gas en grandes cantidades, en tanques en superficie o en el subsuelo.

- En los tanques en superficie se almacena el gas natural licuado (GNL). Para ello se criogeniza el gas, consiguiéndose gas natural en estado líquido, con un volumen hasta 600 veces inferior, lo que facilita el almacenamiento. El volumen de estos tanques varía en función del proyecto concreto, siendo los mayores de España de 150.000 m³. Generalmente, suelen estar situados en zonas costeras, puesto que se utilizan para almacenar el gas natural procedente de los países productores y que llega en barcos metaneros.
- La otra forma de almacenar gas es en los almacenamientos subterráneo, donde es almacenado en forma gaseosa. Mediante un incremento de presión, se consigue reducir el volumen de gas unas 200 veces, aunque este valor puede variar según las características del almacenamiento. Por otro lado, los volúmenes de los almacenamientos en el subsuelo son muy superiores a los de los tanques, pudiendo almacenar por ejemplo en España volúmenes de gas desde los 514.000 m³(N) en el almacenamiento de Marismas y hasta los 3.301.000 m³(N) en el caso del yacimiento de Gaviota. Además de posibilitar mayores volúmenes, los almacenamientos subterráneos son mucho menos vulnerables a posibles accidentes o ataques externos en caso de conflictos con otros países. Y desde el punto de vista económico, las inversiones necesarias por m³almacenado también son menores.

Tabla 1: Características de los almacenamientos subterráneos y en tanques de superficie.

	Vulnerabilidad	Inversiones por volumen de gas almacenado	Volumen Almacenado
Tanque Superficiales	Alta	Alta	Bajo
Almacenamientos Subterráneos	Muy Baja	Baja	Alto

Fuente: Elaboración propia

Evaluación ambiental de los almacenamientos subterráneos de gas natural

Teniendo en cuenta las características de los dos tipos de almacenamiento se considera que el almacenamiento en el subsuelo es preferible al de superficie, siempre y cuando se tengan las condiciones necesarias para su realización. Es por ello que el objeto de este trabajo se centra en los almacenamientos subterráneos de gas natural.

3.4 EL MERCADO DEL GAS NATURAL

El mercado de gas en España se basa en un mercado mayorista. Puede definirse como aquel mercado en el que intercambian contratos las entidades que generalmente no suelen ser consumidores finales. A diferencia del mercado eléctrico, el mercado mayorista de gas suele tener un carácter más acotado, en el sentido de ser un mercado de transacciones muy relacionadas con los ajustes de balance. La mayor parte del gas que se suministra a consumidores finales está contratado en plazos iguales o superiores al año y proviene de contratos de aprovisionamiento con productores cuyos plazos son aún mayores (entre cinco y veinte años).

En consecuencia, los contratos que se suelen cruzar entre operadores mayoristas tienen plazos de ejecución y períodos de vencimiento de corto plazo (entendiendo por corto plazo horizontes de entrega inferiores al año). Estos contratos deben ajustar los perfiles de entrada y salida de gas del sistema a los costes logísticos y de desbalance que soportan estos operadores.

Por esta razón los mercados mayoristas de gas natural cruzan sus operaciones básicamente mediante mecanismos de casación bilateral, frente a los mecanismos de casación simultánea de oferta y demanda, más propios de los mercados mayoristas de corto plazo de energía eléctrica.

El proceso de liberalización del sector gasista

En la década de los noventa se produjo, en algunos países de Europa, un impulso a los procesos de liberalización de ciertos sectores de la economía que hasta ese momento habían estado sujetos a estructuras de monopolio. Ya fuese por el predominio de condiciones de monopolio nacional, o bien por la existencia de monopolios legales. En el caso concreto del sector gasista, la publicación de la Directiva 98/30/CE supuso el primer paso hacia su liberalización.

Esta Directiva establecía, como medida más relevante en relación con la liberalización del mercado, la obligación de que los Estados miembros abrieran sus respectivos mercados minoristas a la competencia. La Directiva 2003/55/CE aceleró el proceso de liberalización del mercado del gas, fijando el 1 de julio de 2007 como fecha límite para que todos los consumidores en la Unión Europea pudieran elegir su suministrador con total libertad.

Evaluación ambiental de los almacenamientos subterráneos de gas natural

La normativa española ha sido una de las pioneras en el ámbito europeo en el impulso a la liberalización del mercado de gas natural. El 1 de enero de 2003, España se situó a la cabeza de la Unión Europea, al alcanzar la plena liberalización del mercado minoristas de gas natural, superando ampliamente los requisitos y plazos impuestos a los Estados miembros por las distintas Directivas.

4 ALMACENAMIENTOS SUBTERRÁNEOS COMO PARTE ACTIVA DEL SISTEMA

4.1 NECESIDAD DE ALMACENAR GAS

Es responsabilidad del distribuidor ajustar la demanda a la oferta haciendo frente a las variaciones estacionales y las posibles interrupciones en el suministro. Esto conlleva la necesidad de tener capacidades donde se pueda almacenar grandes cantidades de gas y es aquí donde toman importancia los almacenamientos subterráneos.

Los almacenamientos subterráneos de gas se pueden dividir en dos grandes grupos atendiendo a su funcionalidad: modular o estratégica.

- Por un lado los almacenamientos de modulación, sirven para laminar el suministro de gas. A su vez pueden ser de dos tipos, los encargados de hacer frente a las puntas de demanda con un alto caudal de producción de gas, que son los llamados operacionales; o aquellos que responden a las grandes oscilaciones periódicas de la demanda de gas que tiene lugar a lo largo del año, son llamados estacionales.
- Por otro lado, los almacenamientos estratégicos son importantes para el suministro de gas, ya que garantizan el suministro en caso de que éste sea interrumpido, permitiendo una cierta independencia energética.

En España los almacenamientos subterráneos de gas funcionan tanto como modulares, como estratégicos.

Como la cantidad de gas importada al año de otros países siempre es la misma, en los meses cálidos con menor consumo de gas, éste es almacenado para poder utilizarlo en invierno. Por lo tanto el funcionamiento de un almacenamiento subterráneo depende de las variaciones de la oferta y la demanda. En España, dada su climatología, se inyecta gas en los meses cálidos, de Abril a Septiembre, cuando hay una mayor oferta y una menor demanda. Y por el contrario, en los meses de mayor consumo se procede a la extracción. Este ciclo tiene una duración aproximada de seis meses, siendo éstos los meses de frío.

4.2 MARCO LEGAL

De estas leyes se obtiene una serie de información que debe aplicarse en lo que se refiere al gas natural que debe existir almacenado.

La Unión Europea está regida por una legislación específica relativa al suministro, es el Reglamento de Seguridad de suministro (UE) nº 994/2010 del Parlamento Europeo y del

Evaluación ambiental de los almacenamientos subterráneos de gas natural

Consejo. Ésta recomienda que haya un mínimo de gas almacenado que cubra las necesidades de para 30 días de consumo normal.

En España existe además otra legislación para controlar las existencias mínimas de Seguridad.

Ley 34/1998 del Sector de Hidrocarburos, regula la obligación de transportistas y comercializadores que incorporan gas al Sistema a mantener unas existencias mínimas de seguridad equivalentes a treinta y cinco días de sus ventas en firme.

El Real Decreto 1716/2004, señala que pueden ser contabilizados como existencias mínimas de seguridad las cantidades de gas almacenados en tanques de gas natural licuado, en almacenamientos subterráneos, en plantas Satélites, a bordo de buques en puerto, cabotaje o con descarga programada de un plazo no superior a tres días.

La Ley 12/2007 que modifica la Ley 34/1998. Los comercializadores estarán obligados a disponer de unas existencias mínimas de seguridad de carácter estratégico, que serán determinados por el Gobierno en función de las disponibilidades del Sistema.

El Real Decreto 1766/2007 modifica el Real Decreto 1716/2004, el cuál regula la contabilización de existencias mínimas de seguridad de:

- Carácter estratégico, en el que señala diez días de ventas en firme del año anterior, en almacenamientos subterráneos, pudiéndose computar la parte del gas colchón extraíble por medios mecánicos. Lo dicta el Gobierno.
- Carácter operativo, son diez días de las ventas firmes del año anterior. Dos días de media en plantas, Almacenamientos subterráneos o plantas satélites, mientras, 8 días de media durante el mes de octubre en cualquier tipo de almacenamiento subterráneo.

4.3 HISTORIA

4.3.1 EN EL MUNDO

Los almacenamientos subterráneos de gas son una tecnología que se lleva usando desde hace aproximadamente 100 años, que heredó sus técnicas, herramientas y en general conocimientos de la industria de los hidrocarburos.

Estos proyectos de almacenamiento de gas se pusieron en marcha para llevar el suministro de gas a los crecientes centros de poblaciones, cuando la demanda superaba la capacidad de las líneas de conducción de acero. El primer almacenamiento de gas documentado data de 1915 en el Condado de Welland, Ontario (Canadá) se trataba de un yacimiento depletado de hidrocarburos. Un año más tarde se inauguró el yacimiento de Zoar, cerca de Búfalo (EEUU) que aún hoy sigue en funcionamiento. Estos almacenamientos se construían aprovechando la misma infraestructura que se había utilizado para la extracción del hidrocarburo, haciendo

Evaluación ambiental de los almacenamientos subterráneos de gas natural

ciertas modificaciones en algún elemento de la instalación de superficie, como pueden ser los compresores para inyectar el gas.

Ya en los años 30 existían en el mundo 9 almacenamientos subterráneos, todos ellos en Estados Unidos, y se empezaron a realizar las primeras pruebas para el almacenamiento de gas en acuíferos, en zonas donde no existía presencia de hidrocarburos. No fue hasta 1946 en Kentucky cuando se utilizó el primer acuífero salino como almacenamiento.

En 1961 se comenzaron a utilizar cavernas desarrolladas en sal para el almacenamiento de gas. Anteriormente ya se habían utilizado para almacenar gas licuado del petróleo, GLP. Se le dio este nuevo uso por primera vez en Saint Claire Country (Michigan) también en Estados Unidos. Inicialmente estas cavernas tenían poco volumen (30.000-100.000 m³), sin embargo la tecnología siguió avanzando. En la década de los 80 ya se construyeron cavernas con volúmenes comprendidos entre los 300.000 y los 600.000 m³ en Francia y Alemania, incluso existe alguna caverna en Estados Unidos que supera 1.000.000 m³.

Actualmente existen más de 600 instalaciones de almacenamientos subterráneos de gas en todo el mundo, la mayoría en Estado Unidos y Europa. Y en los últimos años el continente Asiático destaca llevando a cabo muchos proyectos para la viabilidad y construcción de distintos almacenamientos subterráneos de gas.

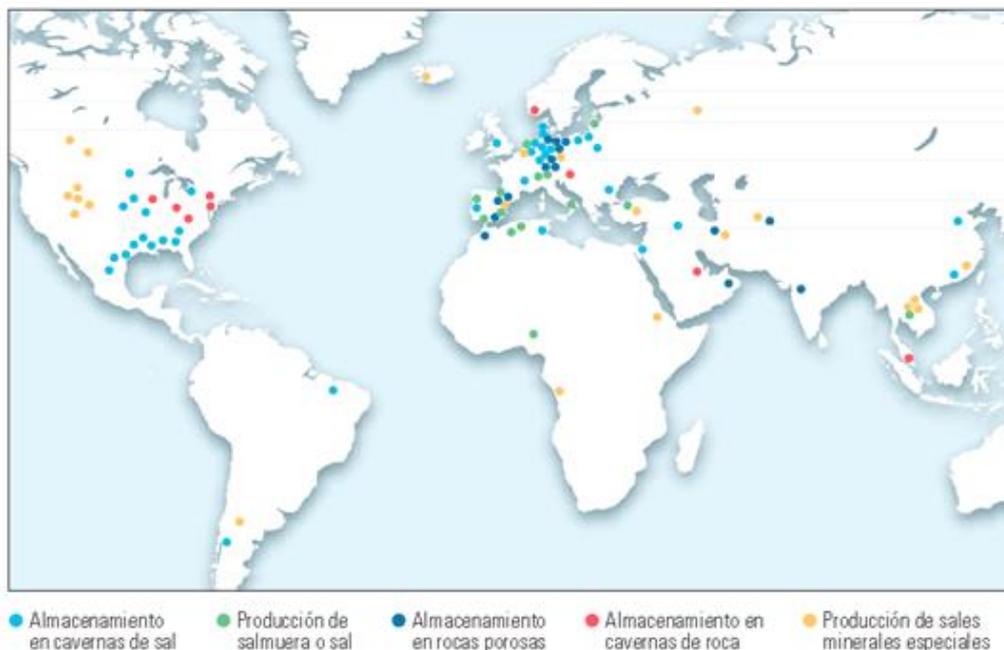


Ilustración 4: Almacenamiento subterráneo de gas natural.

Fuente: OfieldReview

Evaluación ambiental de los almacenamientos subterráneos de gas natural

Países como Alemania, Francia e Italia, importadores de gas, han desarrollado desde hace más de 50 años la utilización de los almacenamientos subterráneos de gas como un elemento más de sus sistemas gasistas. Otros países como Reino Unido que es un claro exportador en Europa, ha desarrollado un concepto de almacenamiento más parecido al existente en Estados Unidos donde se le ha dado un uso comercial más que estratégico.

La tabla siguiente presenta cómo están distribuidos los distintos tipos de almacenes de gas en el mundo, indicando el número de cada tipo de almacenamientos en las distintas zonas del mundo.

Tabla 2: Almacenamientos en el mundo. International Gas Union (IGU).

	Yacimientos depletados	Acuíferos profundos	Cavernas salinas	Cavernas mineras	Total
Europa	71	24	32	3	130
América	358	50	42	1	451
Asia Oceanía	11	-	1	-	12
C.I.S	36	13	1	-	50
Total	476	87	76	3	642

Fuente: UGS World Data Bank 2006

En el año 2004, la Unión Europea consideró una cobertura de la demanda de gas de un 25% como un porcentaje óptimo de reservas de gas disponibles en los almacenamientos subterráneos. Mientras que en España, se ha calculado, que en el 2013 sólo un 9% del consumo de gas español procedió de los almacenamientos subterráneos.

4.3.2 EN ESPAÑA

En España los primeros almacenamientos subterráneos de gas fueron antiguos yacimientos de gas natural ya agotados. Desde el año 1991 está en operación **Serrablo**, situado entre las localidades de Jaca y Sabiñánigo (Huesca), y en 1993 entró en funcionamiento **Gaviota**, ubicado en el mar (almacenamiento "off-shore") frente a la costa de Bermeo (Vizcaya). Otro de ellos es **Marismas** en Doñana (Huelva).

El último almacenamiento desarrollado y activo es un acuífero profundo, **Yela**, ubicado en Brihuega (Guadalajara), éste se puso en marcha en el último trimestre de 2012.

Evaluación ambiental de los almacenamientos subterráneos de gas natural

Tabla 3: Capacidades de los Almacenamientos en España.

Almacenamiento subterráneo	Gas útil	Gas colchón	Capacidad total	Capacidad inyección	Capacidad extracción	Producción total	Pozos
Gaviota	1.547 Mm ³	1.701 Mm ³	2.681 Mm ³	5,5 Mm ³ (n)/día	5,7 Mm ³ (n)/día	7.240 Mm ³	6
Serrablo	820 Mm ³	420 Mm ³	1100 Mm ³	4,4 Mm ³ (n)/día	6,8 Mm ³ (n)/día	910 Mm ³	6 + 2 de observación
Yela	1050 Mm ³	900 Mm ³	1950 Mm ³	10,0 Mm ³ (n)/día	15,0 Mm ³ (n)/día	-	
Marismas	62 Mm ³	452 Mm ³	514 Mm ³	0,4 Mm ³ (n)/día	0,4 Mm ³ (n)/día	-	-

5 PRIMEROS PASOS PARA EL ALMACENAMIENTO SUBTERRÁNEO

5.1 CONCEPTOS BÁSICOS DE LOS VOLÚMENES DE GAS DEL ALMACÉN

Para entender el funcionamiento de un Almacenamiento Subterráneo es necesaria la comprensión de unos conceptos previos en relación al volumen, los cuales se describen a continuación:

1. Volumen Total del Almacén:

Es el máximo volumen de gas que se posible almacenar en el yacimiento. Hay que destacar que en el caso de los almacenamientos en acuífero, el desarrollo total del mismo se alcanza tras varios periodos de inyección.

5.1.1 VOLÚMENES DE GAS DURANTE LA FASE DE OPERACIÓN

2. Volumen Total de Gas Almacenado:

Es el volumen de gas que se ha almacenado en un momento dado, puede ser igual o inferior al volumen total del almacén en el caso en el que todavía no se haya llegado a inyectar la capacidad máxima. Este volumen está compuesto por el volumen de gas colchón y el volumen de gas operativo.

3. Volumen de Gas Colchón

Es la cantidad de gas que requiere un almacenamiento para proporcionar el volumen y la presión necesarios. Permite que el gas operativo pueda ser extraído sin dañar la integridad del almacén, conservando las condiciones adecuadas para su óptimo funcionamiento. Es decir, es la capacidad total almacenada menos el volumen operativo.

4. Volumen de Gas Operativo

Es el volumen de gas que puede ser extraído en un ciclo de trabajo. En los almacenamientos subterráneos en medio poroso, este volumen está directamente relacionado con el volumen de gas colchón, puesto que a mayores cantidades de gas colchón, mayor será la cantidad de gas operativo que se puede obtener.

5.1.2 VOLÚMENES DE GAS DEL ALMACÉN EN SU FASE FINAL

Tras finalizar la vida útil del almacén se consideran dos tipos de volumen de gas:

5. Volumen de Gas Útil

Se considera gas útil a la suma del gas operativo más el gas colchón extraíble por medios mecánicos. Es decir, la suma de gas que puede extraerse al final de la vida útil del almacenamiento subterráneo.

6. Volumen de Gas no Extraíble

Es el volumen de gas que queda en el almacén y que no es posible extraer por medios mecánicos al finalizar la fase operativa del almacenamiento subterráneo. Este gas se queda retenido en la roca almacén o en el interior de las cavidades haciendo imposible su extracción al cierre del almacén.

Cabe también destacar el gas resultante de restar el gas útil menos el operativo. Éste es llamado **gas estratégico** del país, pudiéndose sólo utilizar cuando el Gobierno lo dice expresamente, mediante una publicación en el BOE, ya que es considerado como reserva nacional estratégica de gas natural.

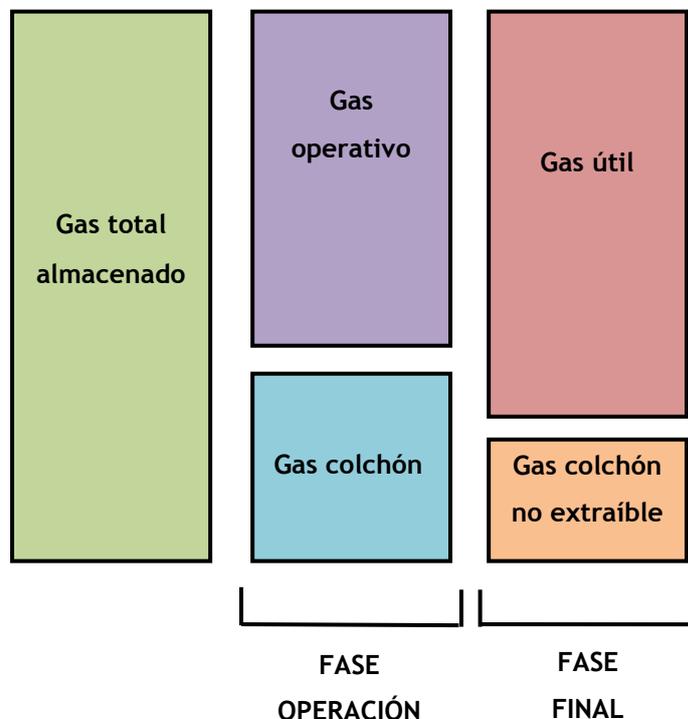


Ilustración 5: Relación de volúmenes de un almacenamiento.

6 TIPOS DE ALMACENAMIENTOS SUBTERRÁNEOS

Los almacenamientos subterráneos de gas se clasifican por el tipo de formación geológica que los alberga. Para poder realizar una adecuada clasificación es necesario separar los almacenamientos en dos grupos: los construidos en formaciones porosas (yacimientos depletados y acuíferos profundos), y los desarrollados en cavidades (salinas y mineras).

A continuación se detallan los 4 tipos principales de almacenamientos subterráneos:

- Almacén en Yacimientos depletado (agotado) de Hidrocarburos
- Almacén en Acuíferos profundos.
- Almacén en Cavidades Salinas
- Almacén en Cavidades Mineras

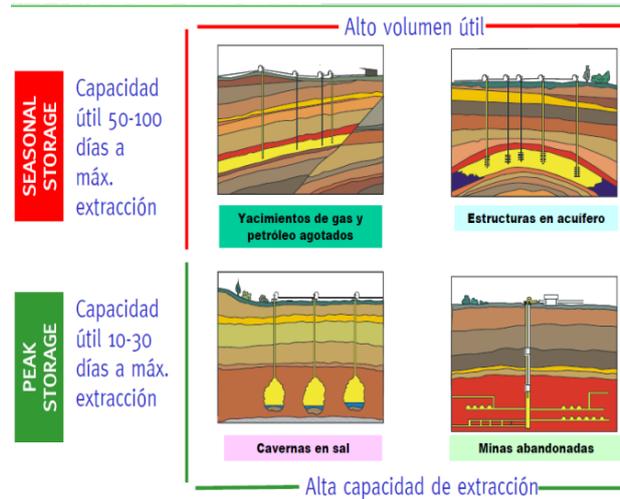


Ilustración 6: Tipos de Almacenamientos Subterráneos de gas.

Se pueden ver en la siguiente representación, los almacenamientos más comunes en Europa.

Almacenamientos subterráneos de gas en UE

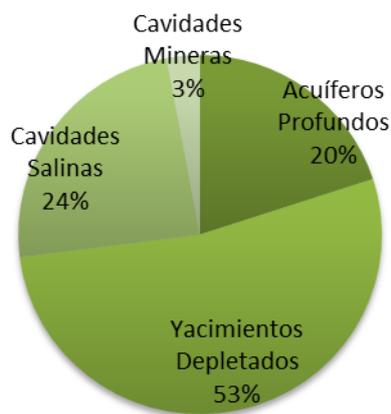


Tabla 4: Almacenamientos subterráneos %.

Evaluación ambiental de los almacenamientos subterráneos de gas natural

6.1 FORMACIONES POROSAS

Este tipo de formaciones requieren la presencia de una roca porosa y permeable que albergue el gas en sus poros. Además precisan de una roca impermeable o sello que lo cubra formando una trampa estructural que impida que el gas se escape.

La siguiente figura muestra el funcionamiento de las formaciones porosas:

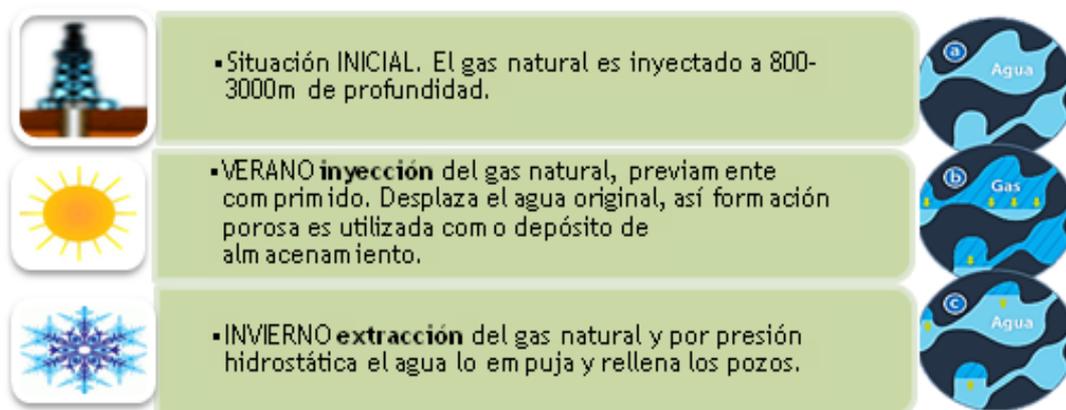


Ilustración 7: Funcionamiento de los almacenamientos subterráneos de gas en medio poroso.

Existen dos almacenamientos subterráneos distintos en este tipo de formaciones. Se describen a continuación.

6.1.1 ALMACENAMIENTO EN YACIMIENTOS DEPLETADOS

Los yacimientos depletados, o **yacimientos de hidrocarburos agotados**, son históricamente los primeros almacenamientos subterráneos construidos. Estos yacimientos que han llegado al final de su vida útil, se pueden convertir en almacenamientos subterráneos de gas. El gas se almacena en el espacio poroso que existe en la roca almacén en los que se encontraba anteriormente de forma natural.

En España, Gaviota (Vizcaya) y Serrablo (Huesca) son unos de los yacimientos agotados de hidrocarburos y que actualmente son almacenamientos subterráneos de gas.

Algunas de las ventajas de este tipo de almacenamiento son la reutilización tanto de la planta con sus sistemas de conexión y gasoductos, como de la infraestructura de los pozos ya existentes. Estos se convierten en pozos de inyección y extracción, realizando a su vez todas las modificaciones necesarias en las instalaciones de superficie para pasar de una planta de extracción a una de almacenamiento. En el yacimiento permanece un gas que no ha podido ser extraído por medios mecánicos, es el llamado gas residual. Por lo tanto éste pasará a

Evaluación ambiental de los almacenamientos subterráneos de gas natural

formar parte del gas colchón del almacenamiento subterráneo. La presencia de este gas residual, supone también un ahorro en el gas colchón que se necesita inyectar.

La idoneidad del almacenamiento es debido a sus características geológicas, que permiten almacenar el gas, como ya se ha demostrado en su día al ser capaz de contener hidrocarburos de forma natural.

Se realizan las pruebas que aseguren esta idoneidad del emplazamiento, de forma que queda comprobada la buena porosidad de la roca, la permeabilidad, la presencia de la capas superiores impermeables, llamadas sello, que impidan que el gas almacenado se escape verticalmente y un cierre estructural, trampa, que controle horizontalmente la burbuja de gas.

A pesar de los **estudios parámetros** del almacén, es necesario además complementarlos **estudios con otros parámetros** de operación y que nos ayuden a diseñar la capacidad de almacenamiento. Por lo tanto hacer las modificaciones necesarias en la planta de tratamiento, como por ejemplo, incluir las unidades de compresión para inyectar el gas en el subsuelo.

También se puede dar el caso de los yacimientos agotados de petróleo, en los cuáles se deberá realizar un estudio del comportamiento del gas inyectado con los fluidos residuales del almacén y la producción de petróleo residual así como la comprobación de la roca cobertera como sello estanco al gas natural.

La ventaja de este tipo de almacenamiento, es el conocimiento en profundidad de las características geológicas y estructurales de la zona, al contar con los estudios realizados y los datos históricos de producción como antiguo yacimiento explotado.

6.1.2 ALMACENAMIENTO EN ACUÍFEROS PROFUNDOS

Los almacenamientos subterráneos en acuíferos profundos aprovechan estructuras geológicas naturales, en cuyos poros se encuentra agua salada, para almacenar gas. Geológicamente son formaciones similares a los yacimientos depletados de hidrocarburos, pero que nunca han contenido ningún hidrocarburo.

Para que una formación de este tipo sea apta para contener gas, debe cumplir una serie de condiciones concretas. Los almacenamientos en acuífero profundo se encuentran en formaciones permeables y porosas, saturadas de agua salada que será desplazada por el gas inyectado. Esta formación porosa debe estar cubierta por otra formación no permeable formando una trampa que garantice su aislamiento, evitando que se escape el gas. A esta formación se la denomina sello o roca cobertera. Es necesario realizar estudios para determinar que el agua del acuífero no es válida para el uso humano ya que la presencia del almacenamiento impediría que se pudiese reaprovechar con este fin.

Evaluación ambiental de los almacenamientos subterráneos de gas natural

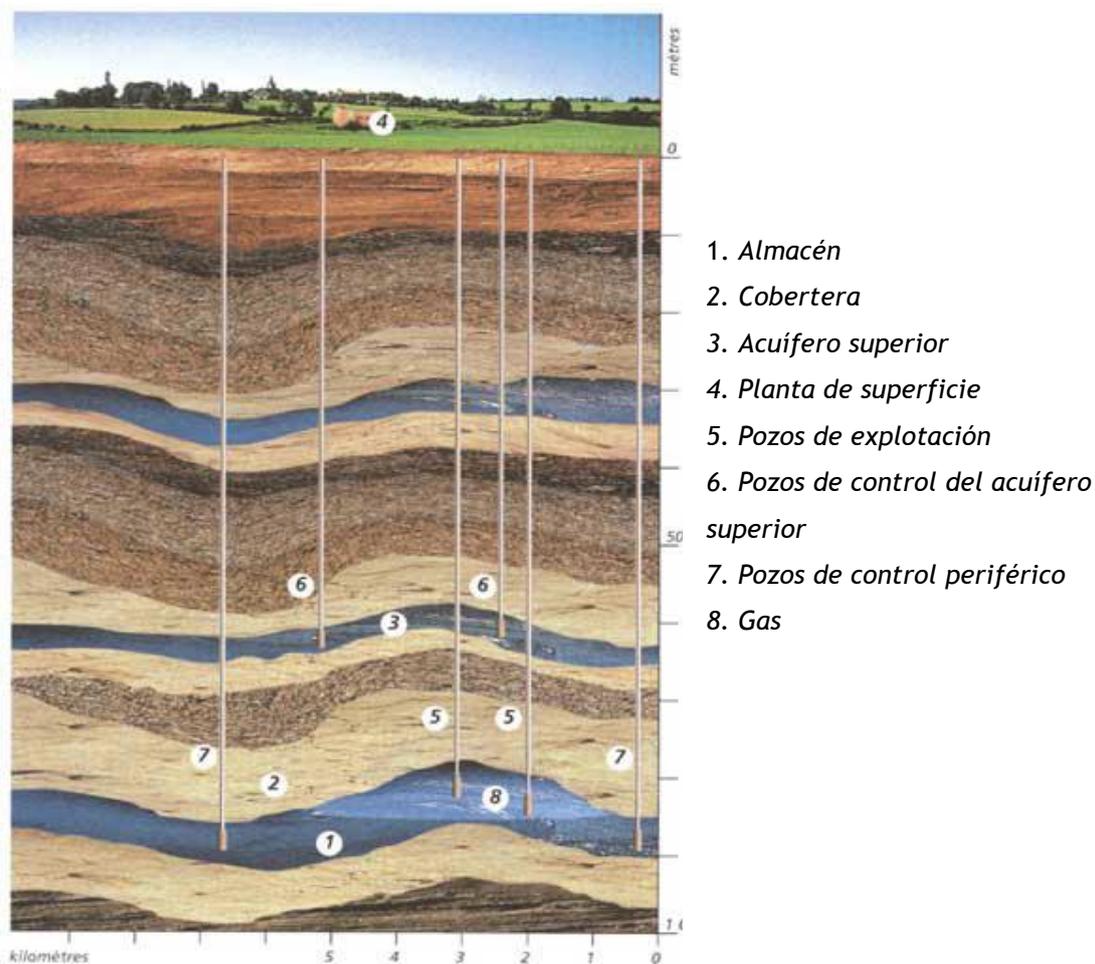


Ilustración 8: Almacenamiento en acuífero.

A diferencia del almacenamiento depletado, en estos casos no existe una infraestructura que se pueda aprovechar o adaptar. Es necesario construir los pozos con los que se va a operar el almacenamiento, así como construir toda la infraestructura de superficie (planta y gasoducto). Este tipo de almacenamientos requieren que todo el gas colchón sea inyectado, ya que en su interior sólo se encuentra el agua salada, por esta razón suele necesitar una mayor inyección del gas colchón que otros almacenamientos al no existir gas previamente.

La profundidad es una característica que cobra gran importancia. Estos almacenamientos se realizan a profundidades mayores a 1000 m.

El desarrollo de un almacén subterráneo en un acuífero profundo se suele demorar mucho en el tiempo. Su creación puede alargarse hasta más de 10 años incluyendo los trámites administrativos y el proyecto de ingeniería en sí, lo cual supone aproximadamente el doble de tiempo requerido que para la conversión de un yacimiento agotado. Requieren una primera fase de exploración para centrar la búsqueda en una posible estructura, y después una fase de investigación para definir la estructura final que pueda contener el gas.

Evaluación ambiental de los almacenamientos subterráneos de gas natural

6.2 CAVIDADES

El almacenamiento en cavidades consiste en el desarrollo artificial de una cavidad en el subsuelo, en la cual se inyectará el gas a presión.

Éstas se dividen en dos grupos distintos.

6.2.1 ALMACENAMIENTO EN CAVIDADES SALINAS

Este tipo de almacenamiento se ha usado para almacenar gas licuado de petróleo durante muchos años, pero la técnica es relativamente reciente para el gas natural. Se introdujo por primera vez en Estados Unidos en 1961. Hoy existen 44 cavidades de este tipo en todo el mundo, la mitad de ellos en los Estados Unidos y los demás están situados en Canadá, Dinamarca, Alemania, Francia, Reino Unido, Polonia y Armenia. El almacenamiento en cavidades salinas se está desarrollando con gran rapidez, con más de 10 instalaciones nuevas en los últimos años y numerosos proyectos en Estados Unidos.

El principio no es el de crear un campo artificial de gas, sino el de desarrollar una cavidad subterránea en una capa de halita o sal gema, que es común en las cuencas sedimentarias. Estas formaciones salinas deben de estar a al menos 800 metros de profundidad, puesto que la sal es soluble en el agua, la cavidad se excava por lixiviación. Esto consiste en disolver la sal con agua y extraer la salmuera por un sólo pozo que después sirve para la inyección la extracción del gas.

Condiciones para la creación y diseño de las cavidades salinas

Bajo la superficie de la tierra pueden aparecer formaciones de roca salina de considerable espesor. Estas formaciones de rocas salinas pueden encontrarse en dos tipos de estructuras diferentes:

- Domos Salinos: son formaciones gruesas creadas a partir de los depósitos de sal naturales que, con el tiempo, se filtran a través de capas sedimentarias más profundas para formar grandes estructuras de tipo domo. Las cavidades en este tipo de estructuras suelen ser de gran diámetro y profundidad.
- Capas Salinas: estas formaciones estratificadas a menudo subyacen a las grandes cuencas, con capas de sal relativamente delgadas (<300 m de espesor) y a menudo separadas por lechos de capas porosas o impermeables de otros sedimentos.

Los domos salinos tienden a tener una composición más homogénea que las capas de evaporitas mixtas, y son más convenientes para el almacenamiento de gas porque se disuelven de forma más uniforme y pueden alojar cavernas más grandes.

Las formaciones salinas poseen una serie de propiedades debido a las características intrínsecas de la sal que hacen que las cavernas que se forman en ellas sean óptimas para el

Evaluación ambiental de los almacenamientos subterráneos de gas natural

almacenamiento de gas natural, estas propiedades son, una resistencia moderadamente alta, lo cual permite la acumulación de gas en sus cavidades a alta presión y una buena plasticidad, lo que le permite sellar fracturas en la roca que de lo contrario podrían dar lugar a fugas.

Características

Las cavidades salinas tienen tres características propias:

- Una capacidad útil relativamente baja (30 a 60 millones m³/cavidad).
- Un gasto de extracción alto (1 a 3 millones m³/día) que permite ciclos completos en uno a dos meses.
- La flexibilidad de pasar muy rápidamente (en menos de una hora) de inyección a extracción. Es decir, tienen una gran capacidad para las alteraciones cíclicas, permitiendo altos regímenes de inyección y extracción.

Por estas razones, la utilización óptima de las cavidades salinas permite atender a necesidades de inyección y de extracción a corto plazo de los picos de consumo. En España todavía no se han construido almacenamientos de este tipo, en parte debido a la crisis de estos últimos años. En Balsareny (Barcelona) estaba planificada la construcción de un almacenamiento salino, pero con la reducción del consumo de gas, se ha decidido posponer este proyecto.

Diseño de las Cavidades Salinas

Los parámetros principales a tener en cuenta para el desarrollo del almacenamiento en cavidades salinas son comunes a todos:

- La formación salina debe exhibir unos valores apropiados de extensión, espesor y profundidad.
- La excavación de la cavidad sólo es posible si el contenido de insolubles es inferior al 20%. También hay que verificar la ausencia de sales muy solubles tales como la sal de magnesio o la sal de potasio que podrían generar formaciones de cavidad muy irregulares.
- Ha de disponerse de un abundante suministro de agua ligeramente salina; hacen falta de 7 a 9 m³ de agua para extraer por lixiviación 1m³ de sal.
- Ha de hallarse alguna forma de deshacerse de la salmuera. Este vertido debe ser gestionado adecuadamente para evitar impactos sobre el medio acuático, puede descargarse al mar o vertiéndolo a un tercero que lo aproveche. La situación ideal sería disponer en las inmediaciones de alguna planta química que pudiera utilizar la sal.
- Ha de protegerse y conservarse la estabilidad mecánica de la cavidad. Esto significa que la presión nunca ha de descender de un umbral especificado, que depende de la presión litostática en el macizo, es decir, de la profundidad de ésta y de las

Evaluación ambiental de los almacenamientos subterráneos de gas natural

características mecánicas de la sal. Además, las cavidades han de estar emplazadas guardando una distancia especificada entre ellas.

- La presión máxima es proporcional a la profundidad: el criterio de fijación de esta presión es evitar la formación de fracturas en el techo de la cavidad y en la parte inferior del entubado cementado.

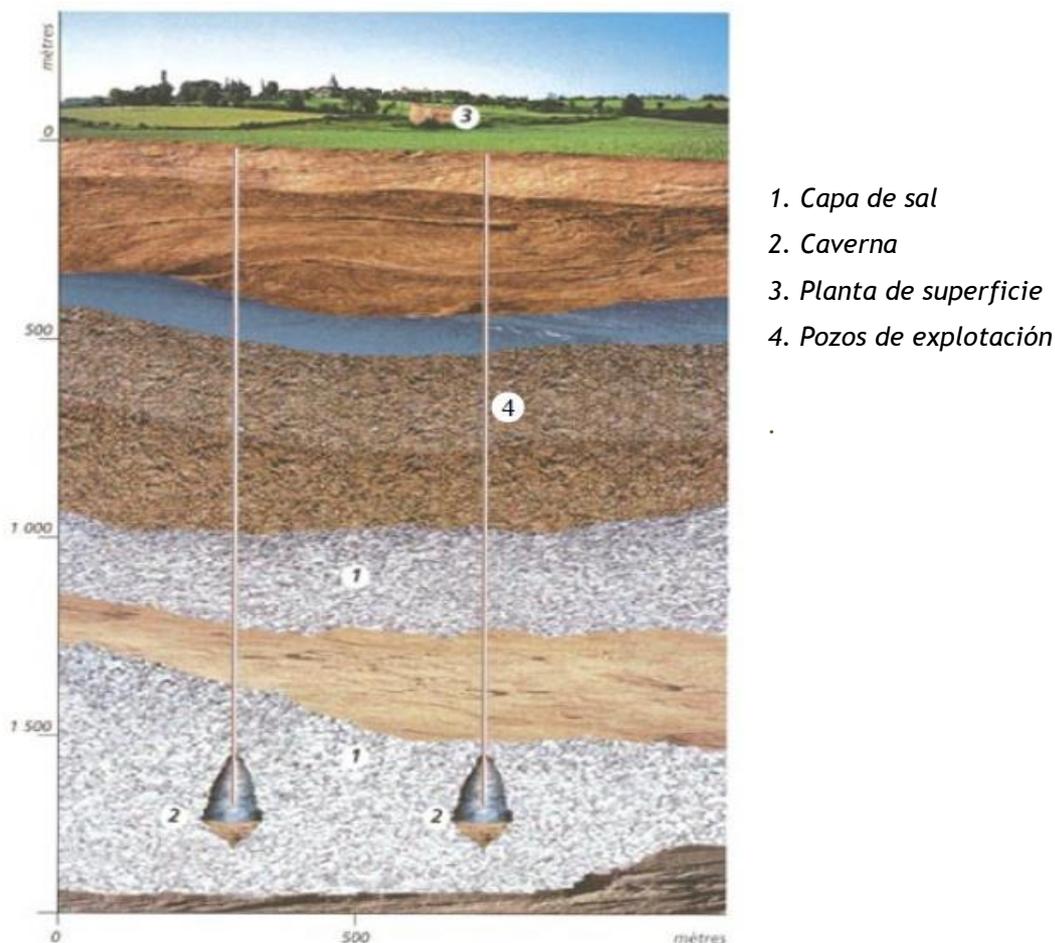


Ilustración 9: Almacenamiento Caverna Salina.

6.2.2 ALMACENAMIENTO EN CAVIDADES MINERAS

Los almacenamientos subterráneos de cavidades mineras son poco comunes y utilizan antiguas minas abandonadas o cavidades mineras excavadas en roca impermeable para almacenar gas natural. Este tipo de almacenamiento consiste en aprovechar los túneles existentes de la propia mina llenándolos de gas. Deben cumplir una serie de condiciones, sellados correctamente. En el caso de las antiguas minas de sal, ésta ejerce ese sellado tal como ocurre en las cavidades salinas.

Estas minas durante el periodo que están abandonadas pueden ser inundadas de agua. En el caso de que haya sido inundada con agua se debe inyectar gas a la vez que se elimina el agua

Evaluación ambiental de los almacenamientos subterráneos de gas natural

por bombeo. Las minas que no están inundadas, es decir, las minas secas de carbón pueden contener algunos gases que hay que ventear al inicio de la operación.

La construcción de yacimientos en minas de carbón es compleja ya que se han de construir diques y tapones herméticos en grandes dimensiones que hace que sea muy difícil conseguir el grado de estanqueidad necesario. Los dos problemas más importantes en este tipo de almacenamiento son la estanqueidad y la estabilidad mecánica y las enormes cargas mecánicas sobre los tapones al presurizar el almacén como consecuencia de la enorme superficie de sus galerías.

El gas colchón en este tipo de almacenamiento se puede recuperar casi en su totalidad, si es una antigua mina de sal. En caso de las minas de carbón este gas se adsorberá y por tanto será más difícil su recuperación.

En cuanto a la operación, se asemeja a las cavernas de sal. Funciona como una cavidad en la que los tiempos de inyección y extracción del gas son cortos pudiendo tener varios ciclos al año. Esto hace que puedan hacer frente los picos de demanda mensual, semanales o diarios.

Una mina puede encontrarse a una profundidad de 250 metros operando a una presión de aproximadamente 1,65 MPa. Ésta es menor a la cual operan los almacenamientos subterráneos en acuíferos profundos o en yacimientos depletados. La profundidad da lugar a que se pueda almacenar 16 veces más que el volumen del espacio disponible, más la capacidad adicional que se proporciona por la capacidad de adsorción del carbón. A pesar de ello, esta cantidad almacenada es muy inferior al resto de los almacenamientos subterráneos, pero en cualquier caso puede ser suficiente para hacer viables estos proyectos de almacenamiento subterráneo de gas natural.



Ilustración 10: Cavidad minera.

Como Resumen, en la tabla siguiente se comparan las diferencias de las distintas técnicas de almacenamiento de gas natural.

Evaluación ambiental de los almacenamientos subterráneos de gas natural

Tabla 5: Características de los distintos tipos de almacenamientos de gas natural.

TIPOS	DESCRIPCIÓN	OPERACIÓN PRINCIPAL	VENTAJAS	DESVENTAJAS	TIPO DE OPERACIÓN
YACIMIENTOS DEPLETADOS	Formación de depósito Rocosa porosa y permeable	Los fluidos nativos son desplazados y comprimidos por el gas inyectado	Reutilización de instalaciones No exploración Garantía de la roca estanca	Mezcla del gas limpio inyectado y fluidos Tratamiento del gas Gas colchón	Estacional Reserva estratégica
ACUÍFEROS PROFUNDOS	Formación de depósito Rocosa porosa y permeable	El agua es desplazado por el gas inyectado	Alta capacidad	Exploración Deshidratación Restricciones medioambientales Gas colchón	Estacional Reserva estratégica
CAVERNAS SALINAS	Caverna creada por disolución de sal	El gas está comprimido en la caverna	Alta capacidad de entrega Alta flexibilidad y versatilidad	Solución en base agua (Lixiviación) Restricciones medioambientales	Diariamente o semanalmente Picos
CAVIDAD MINERA	Mina abandonada o excavada con este propósito.	El gas está comprimido en la caverna	Alta capacidad de entrega Alta flexibilidad y versatilidad	Escasez de emplazamientos.	Diariamente o semanalmente Picos
ALMACENAMIENTO EN SUPERFICIE	Tanque de GNL	Líquido formado a -163°C	Gran capacidad de entrega No gas colchón Alta flexibilidad y versatilidad	Costes Restricciones de seguridad	Diario Picos

7 FASES DE PROYECTO DE UN ALMACENAMIENTO SUBTERRÁNEO

Desde que surge la necesidad de un almacenamiento subterráneo hasta que se concibe como tal es necesario desarrollar una serie de fases para su creación.

A lo largo de estas fases se busca la localización de estructuras geológicas en las zonas geográficas en las que el sistema gasista necesite un almacenamiento subterráneo. Esta necesidad puede darse bien porque se trate de una zona donde la demanda de consumo es alta o bien porque sea una zona alejada de los puntos de entrada de gas del sistema.

Una vez identificadas las áreas donde existe una necesidad de almacenar gas, se pasa a la realización de los estudios requeridos para ver si cumple las condiciones necesarias y poder así albergar el gas en su interior. En caso que así sea, se procede a la construcción del mismo para poder continuar con la operación de dichos almacenamientos. Una vez finalizada la vida útil del almacenamiento, se deberá proceder al desmantelamiento y quitar todo signo aparente de la existencia previa de éste.

A continuación se muestra un esquema donde vienen representadas estas fases y sus principales acciones.

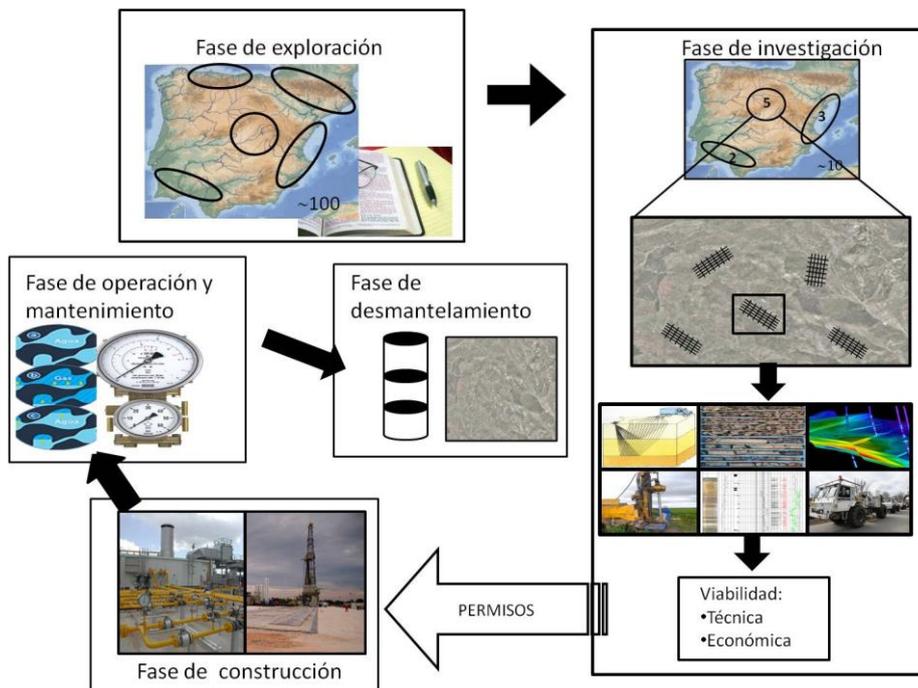


Ilustración 11: Fases del proyecto de almacenamientos subterráneos de gas natural.

Evaluación ambiental de los almacenamientos subterráneos de gas natural

7.1 EXPLORACIÓN

El objetivo en la fase de exploración es la **selección preliminar** de una serie de emplazamientos geológicos donde sería posible el desarrollo de un almacenamiento. Permite hacer una selección de estructuras y acotar así el área de investigación que tendrá lugar una vez finalizada ésta. Se descartan los primeros emplazamientos que se demuestre que no cumplan las condiciones geológicas necesarias.

Para llegar a realizar esta selección preliminar es necesario hacer una recopilación de toda la información existente en el área de estudio. Ésta se basa en la obtención de estudios previos a lo largo de toda la geografía, ya que en un principio no sabemos cuáles serán las áreas más adecuadas para el almacenamiento. Los estudios que se van a recopilar e interpretar suelen ser estudios de tipo geológico, sísmicos y de ejecución de sondeos que se realizaron con anterioridad para la exploración de yacimientos de hidrocarburos. En función de estos estudios vamos acotando la zona de exploración y se va focalizando hacia áreas determinadas.

En la selección preliminar ya se descartan numerosos emplazamientos por no cumplir con los criterios técnicos deseados para la creación del almacenamiento. Los principales criterios por los que se puede descartar un emplazamiento son:

- Criterios geológicos: Se descartarán aquellas cuencas situadas en zonas muy plegadas, falladas y con actividad sísmica reciente (se debe consultar la guía del IGME sobre fallas activas del cuaternario). En formaciones porosas debe existir una roca almacén y una roca sello a una profundidad adecuada y formando una estructura trampa donde pueda quedar retenido el gas y en formaciones salinas una capa de sal suficiente como para poder desarrollar las cavidades. En cualquier caso, la capacidad del almacenamiento debe ser suficiente para hacer rentable el proyecto.
- Criterios hidrodinámicos: En el caso de formaciones porosas, la dinámica natural de los fluidos en los poros de la roca debe permitir el movimiento de gas suficiente como para poder operar con él. En el caso de cavidades salinas también se pueden descartar emplazamientos debidos a un exceso de contenido en sales insolubles.

La fase de exploración varía en función del almacenamiento que se desee desarrollar, puesto que en los acuíferos en profundidad o en las cavidades salinas se parte de una situación inicial en la que se desconoce por completo cuál será la zona más óptima para su localización y por lo tanto la fase de exploración adquiere gran relevancia. No es así en el caso de yacimientos depletados o cavidades mineras, puesto que se parte ya del emplazamiento en el cual se encuentran éstos ubicados, por lo que no se realiza la fase de exploración.

7.2 INVESTIGACIÓN

Una vez finalizada la fase exploración y antes de comenzar con la fase de investigación es necesaria la obtención del **Permiso de Investigación** para poder continuar con los estudios iniciados en la fase de exploración.

El objetivo de la fase de investigación es determinar la viabilidad técnica de las estructuras geológicas evaluadas en la fase anterior para su conversión en almacenamiento subterráneo. Es en esta fase donde se realizan las primeras inversiones, puesto que se empieza a realizar no sólo la interpretación de los datos ya existentes, sino además se realizan trabajos de campo, los cuales suponen un coste económico más importante.

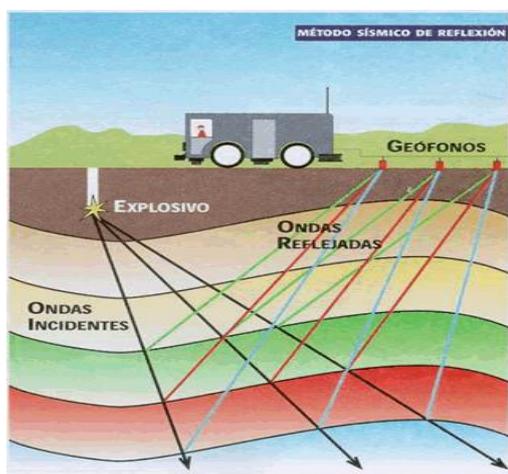
El alcance de los trabajos de investigación se va adaptando en función de los resultados obtenidos. Tras cada uno de estos trabajos es necesario realizar una evaluación de los datos para continuar o abandonar el estudio en cada estructura.

Para la investigación se llevan a cabo diversas técnicas que permiten obtener datos de las estructuras objeto de estudio. Algunas de estas técnicas son:

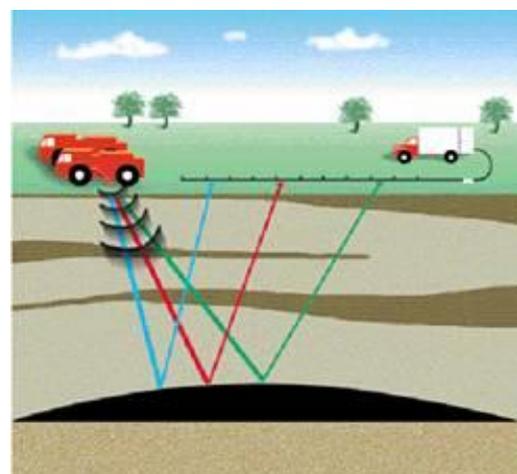
Campaña Sísmica 2D - 3D

Las campañas sísmicas se realizan con el objeto de obtener un **mapa de la estructura en profundidad** y poder así seguir seleccionando el emplazamiento adecuado para la creación del almacenamiento. Esta información puede ser que no exista previamente, en cuyo caso será necesaria una mayor campaña sísmica, o puede ser que ya existan estudios al respecto, en cuyo caso se realizan con el objeto de ampliarla y/o corroborar la información obtenida con anterioridad.

La técnica empleada en las campañas sísmicas se basa en la observación del paso de unas ondas a través de las distintas capas geológicas del subsuelo. Estas ondas se generan mediante una fuente artificial en superficie como pueden ser explosivos enterrados a unos centímetros de profundidad o por el golpe del martillo de un camión vibrador contra el suelo.



Explosivos enterrados



Camión Vibrador

Evaluación ambiental de los almacenamientos subterráneos de gas natural

La velocidad con la que estas ondas atraviesan el subsuelo depende, entre otros factores, de las características geológicas. Cada capa geológica releja de manera distinta las ondas. La respuesta del terreno a las ondas reflejadas es recogida en la superficie mediante sensores, también llamados geófonos, que miden el tiempo que tardan en llegar. El producto final tras el procesado de la información es una imagen del subsuelo en base a las propiedades elásticas de los materiales. Estos estudios se realizan tantas veces como sean necesarias para la caracterización de la zona. A continuación se muestra una imagen de los datos obtenidos tras una campaña sísmica.

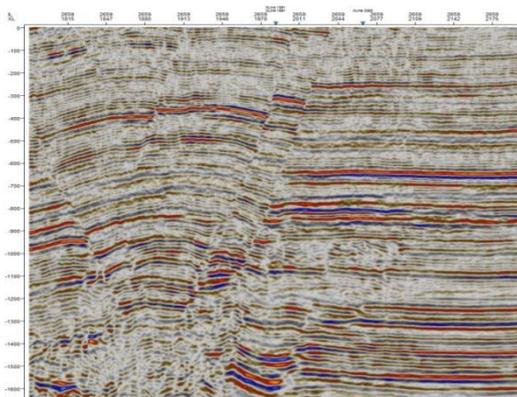


Ilustración 13: Perfil bidimensional de los datos procedentes de una campaña sísmica.

Existen dos tipos de campañas sísmicas: las campañas 2D y las campañas 3D. Las 2D consisten en tirar una serie de geófonos de forma lineal, mientras que en la 3D se tiran los geófonos en malla, esto permite la adquisición de un mayor número de datos y obtener un mapa de las estructura con mayor fiabilidad.

Actualmente empiezan a aparecer tecnologías que permiten hacer los estudios sísmicos sin cable, lo cual facilita su realización en zonas de difícil acceso así como en zonas urbanas o con condiciones climatológicas extremas.

Perforación de Sondeos

Una vez realizadas las primeras caracterizaciones del subsuelo, se procede a la perforación de sondeos con el fin de seguir profundizando en esta caracterización geológica del posible almacenamiento.

La perforación consiste en la construcción de pozos de investigación que van desde la superficie hasta el almacenamiento. El número de sondeos que se deben perforar lo marca la geología y extensión de la estructura. Éstos tienen por objeto la obtención de datos in situ de

Evaluación ambiental de los almacenamientos subterráneos de gas natural

las formaciones atravesadas. Para el caso de las formaciones porosas serán de gran interés la caracterización de la roca sello y de la roca almacén.

Las perforaciones que se realizan en esta fase son similares a las que se realizan durante la fase de construcción (*ver apartado fase de construcción*). Las principales diferencias residen en sus dimensiones, siendo en la fase de investigación algo menores en cuanto a longitud y diámetro. Por norma general, los pozos se diseñan intentando seguir la distancia más corta al objetivo, es decir, en la vertical; mientras que en los pozos de desarrollo, como veremos más adelante, se pueden realizar con otras configuraciones. Estas diferencias se realizan por una única razón, se busca minimizar los costes durante esta fase puesto que todavía se trata únicamente de la fase de investigación y puede que el proyecto finalmente no sea viable.

Como se explica anteriormente el objeto de las perforaciones es la obtención de datos de la columna geológica. A continuación se describen algunas de las técnicas más comunes en este tipo de investigaciones:

- Los testigos nombrados anteriormente, recogidos durante la perforación, son muestras cilíndricas de roca de una formación geológica determinada, se obtienen así características de éstas. Los testigos pueden ser tomados al mismo tiempo que se realiza la perforación o tomados de la pared del pozo, ya habiendo finalizado los trabajos de perforación. Por último son analizados en el laboratorio.



Ilustración 14: Testigos.

- Los registros de digrafías para determinar las características petrofísicas. Se utilizan para determinar la litología, porosidad, permeabilidad y saturación entre otras características de la roca. Esta técnica se basa en hacer descender mediante un cable una sonda de medición, hasta alcanzar el final del pozo. En ese momento despliega los sensores, y se procede a su ascenso, analizando las características de la roca

Evaluación ambiental de los almacenamientos subterráneos de gas natural

desde la parte más profunda hasta la superficie. Las medidas quedan registradas en función de la profundidad en un sistema informático.

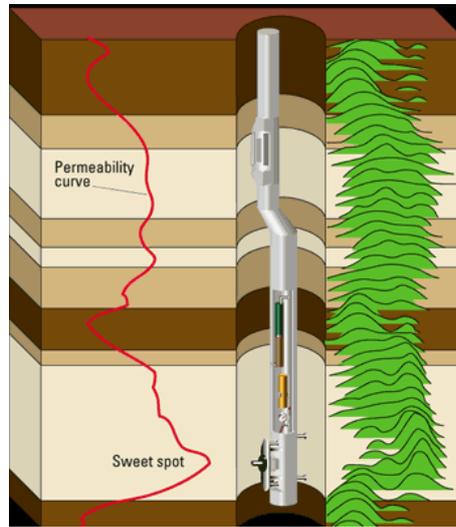


Ilustración 15: Digrafía.

- Pruebas dinámicas con el fin de conocer el movimiento de los fluidos a través de la roca (permeabilidad) y la presencia de barreras al flujo. Estas pruebas consisten en inyectar un fluido, normalmente agua o gas, en el subsuelo y realizar distintas pruebas para comprobar la respuesta dinámica de la roca. Existen diferentes tipos de ensayos como, pruebas individuales o, de interferencia con otros pozos.

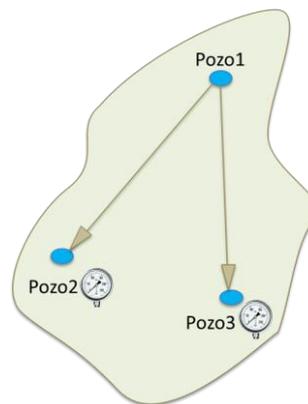


Ilustración 16: Esquema de una prueba Dinámica.

Evaluación ambiental de los almacenamientos subterráneos de gas natural

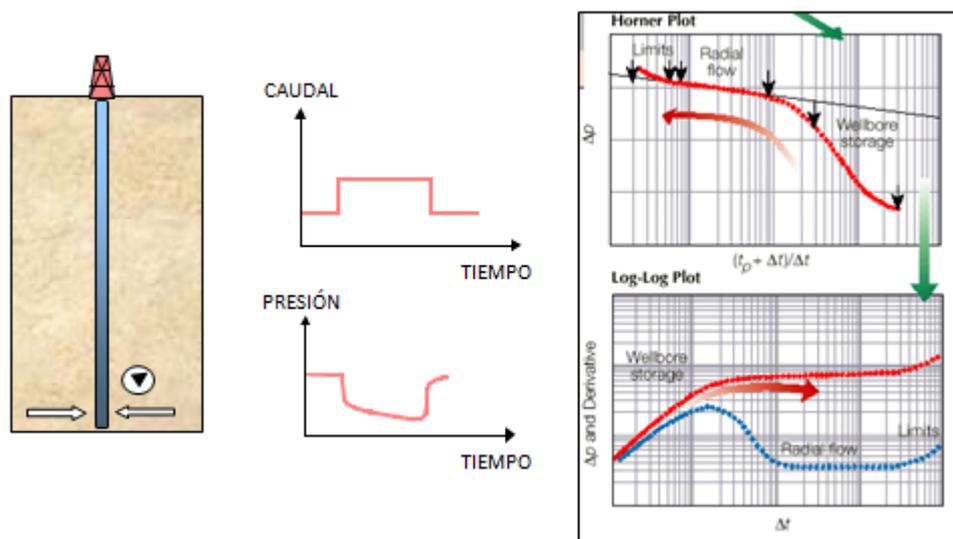


Ilustración 17: datos obtenidos de la prueba dinámica.

Los pozos perforados durante esta fase pueden sellarse tras finalizar su uso o bien se pueden acondicionar para su utilización como pozos de control o pozos de producción durante la fase de operación del almacenamiento.

Modelo Dinámico

La construcción de un modelo dinámico sirve como base para la definición de los escenarios de desarrollo mediante la simulación de los ciclos de producción e inyección previstos para el almacenamiento subterráneo.

Para ello se construye un modelo geológico que consiste en un modelo numérico desarrollado en elementos finitos, que utiliza como datos de entrada la información adquirida durante las fases de exploración e investigación en las campañas sísmicas, los sondeos perforados, diagrfías y pruebas dinámicas. Esta información proporciona el modelo estructural y la distribución de las propiedades petrofísicas dentro del mismo. Se muestra a continuación una imagen tipo.

Evaluación ambiental de los almacenamientos subterráneos de gas natural

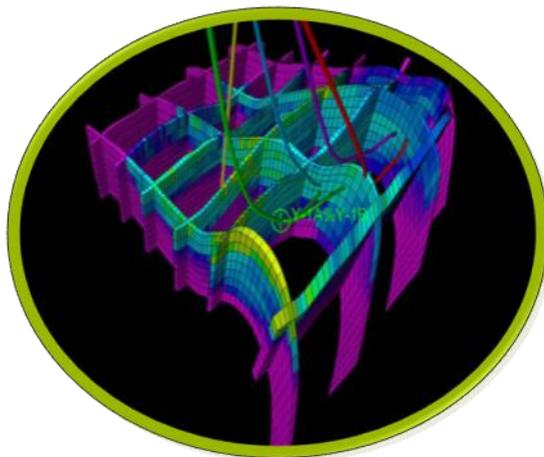


Ilustración18: Modelo Geológico.

A partir del modelo geológico, se construye el modelo dinámico que se centra en simular el comportamiento de los fluidos dentro de la roca almacén.

De este modelo se obtienen las características de los futuros pozos de operación previstos, así como los criterios que se utilizarán en el diseño de la planta. Estos parámetros pueden ser:

- Máximo caudal de producción de gas de almacenamiento
- Máximo caudal de inyección de gas en el almacenamiento
- Máximo caudal de producción de agua por pozo.
- Máxima presión en cabeza de pozo durante la inyección
- Máximo número de pozos para todo el campo.

De este modo queda todo listo para pronosticar el comportamiento del almacén con diferentes escenarios de inyección y producción de gas, teniendo especial importancia el estudio del comportamiento durante el primer llenado de gas en el proceso de creación de la burbuja de gas. Con el modelo dinámico se obtiene también el programa de llenado.

7.3 CONSTRUCCIÓN

Una vez finalizada la fase de investigación y antes de poder comenzar la fase de construcción es de obligado cumplimiento el estar en posesión de una serie de permisos administrativos. En ocasiones la obtención de estos permisos se puede alargar mucho en el tiempo y pueden provocar grandes retrasos en la creación de un almacenamiento subterráneo. Algunos de los permisos más importantes son:

- Concesión de Explotación de Almacenamiento Subterráneo: Tras su solicitud, la concesión será otorgada por el Ministerio de Industria por un período de 30 años, prorrogable a dos periodos sucesivos de diez años. Los titulares de una concesión de

Evaluación ambiental de los almacenamientos subterráneos de gas natural

almacenamiento subterráneo tendrán derecho a almacenar gas natural de producción propia o propiedad de terceros en el subsuelo del área otorgada. *Ley 12/2007, de 2 julio.*

- Declaración de Impacto Ambiental: El Proyecto de almacenamiento subterráneo se somete a la Declaración de Impacto Ambiental (DIA). La DIA es un documento oficial en el cual se recoge el resultado de una Evaluación de Impacto Ambiental y de sus alegaciones. Es obligatorio estar en posesión de una DIA positiva para la construcción de estos proyectos. En ella se recogen todas las medidas necesarias a llevar a cabo durante las fases de construcción y de operación y mantenimiento con el objeto de minimizar los posibles impactos ambientales que se pudieran producir.
- Autorización Administrativa: Requieren la Autorización Administrativa, por parte de la Dirección General de Política Energética y Minas, todos los trabajos específicos que se realicen tanto en el subsuelo como en la construcción, desarrollo y operación de las instalaciones de un almacenamiento subterráneo.
- Licencia Municipal de Obra: Licencia necesaria por parte del ayuntamiento para empezar cualquier tipo de obra civil.

Una vez que se está en posesión de estos permisos se puede comenzar con la fase de construcción. Ésta comprende el período de perforación de los nuevos pozos y acondicionamiento de los pozos de investigación como pozos de control, el desarrollo de la cavidad salina únicamente para los almacenamientos salinos y la construcción de la planta en superficie. Se describen a continuación cada uno de estos procesos en detalle.

7.3.1 PERFORACIÓN

Como se ha visto en la fase de investigación, la perforación consiste en la construcción de pozos que serán los que comuniquen la superficie de la planta con el subsuelo. A través de estos pozos es por donde se inyecta/extrae el gas durante la fase de operación.

Instalaciones y equipos empleados durante la perforación:

- **Antepozo.** Para comenzar las obras de la perforación lo primero que resulta necesario es la construcción del antepozo, sobre el que se coloca el sistema BOP, se instala la torre de perforación y se comienza la perforación.

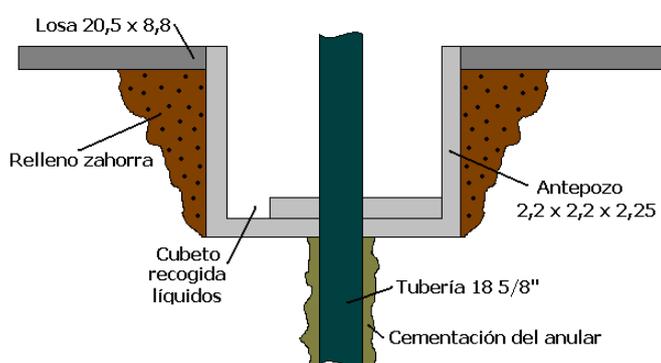


Ilustración 19: Antepozo.

- **Balsas de lodos:** antes de comenzar la perforación hay que tener construidas las balsas de perforación las cuales deben de estar correctamente aisladas del subsuelo.



Ilustración 20: Balsa de Lodos.

- **BOP.** BlowOutPreventer, mecanismo de seguridad obligatorio según las normas A.P.I. por las que se rige la industria de hidrocarburos. Sirve para prevenir de posibles avenidas de gas que puedan ocurrir durante la perforación. Actúa como un mecanismo de seguridad. Se instala previamente al comienzo de los trabajos de perforación.

Evaluación ambiental de los almacenamientos subterráneos de gas natural

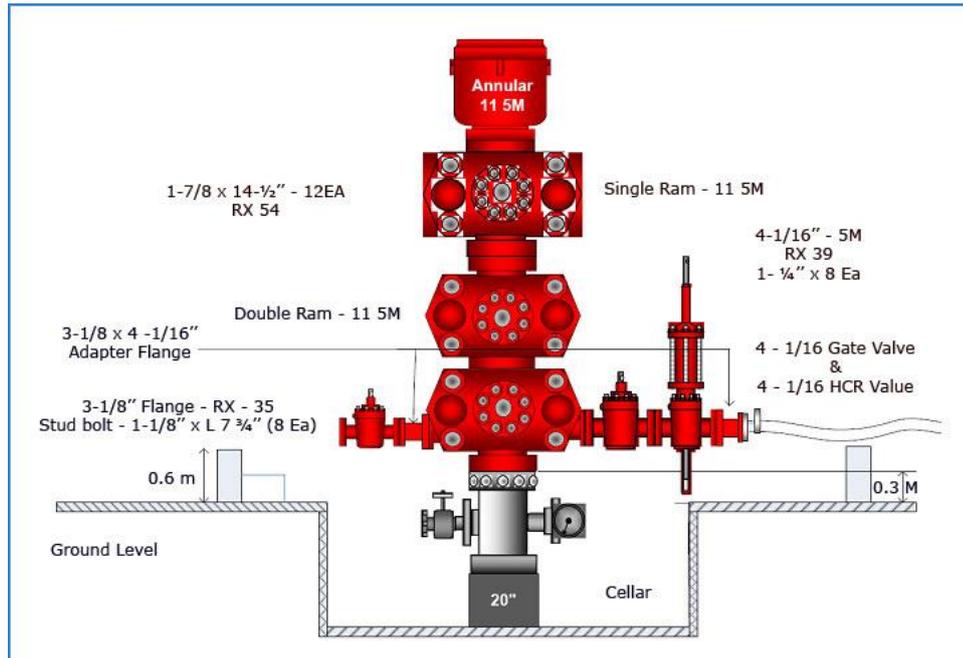


Ilustración 21: Sistema de seguridad BOP.

- Torre de perforación. Existe una gran variedad de tamaños de las torres de perforación, desde los 20 m de altura hasta las más grandes que pueden superar los 50 m de altura. La longitud de cada tramo del tubo de perforación lo marca la altura de la torre. La torre de perforación se selecciona por la capacidad de tiro y el peso que pueda soportar en cuanto a la tubería de perforación. Esto viene marcado por la complejidad de los pozos a perforar.



Ilustración 22: Torre de Perforación Auto transportable.

Evaluación ambiental de los almacenamientos subterráneos de gas natural

En la siguiente hoja se muestra un esquema de la una torre de perforación. Se ha marcado en azul los elementos más importantes para la comprensión de su funcionamiento.

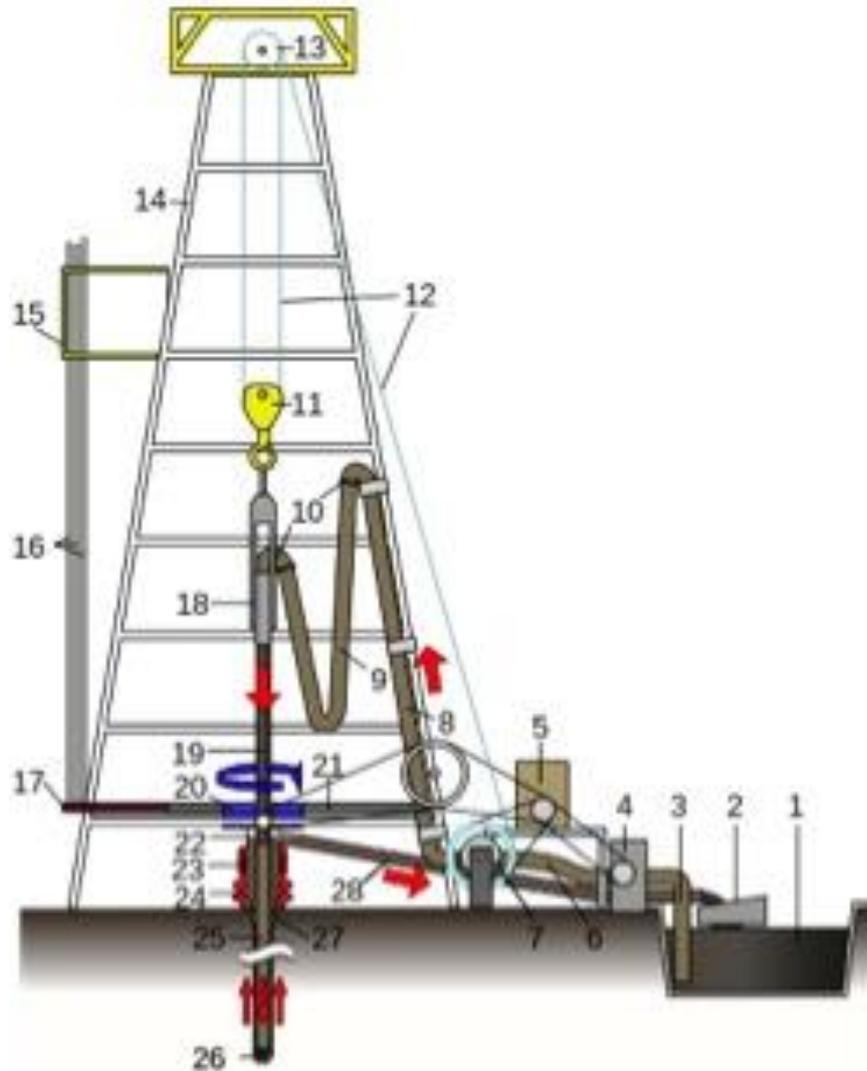


Ilustración 23: Torre de perforación.

- | | | |
|--------------------------------|--------------------------------|---------------------------------------|
| 1. Tanque de lodo o pileta | 11. Aparejo | 20. Mesa rotativa |
| 2. Agitadores de arcilla | 12. Cable del aparejo | 21. Piso de perforación |
| 3. Línea succión de bomba lodo | 13. Bloque corona | 22. Bell nipple |
| 4. Bomba de lodo | 14. Estructura | 23. Válvula (BOP) anular |
| 5. Motor | 15. Piso del enganchador | 24. Válvula (BOPs) ciega y de cañería |
| 6. Manguera de la bomba | 16. Tiros | 25. Sarta de perforación |
| 7. Carrete del aparejo | 17. «Rack» | 26. Trépano |
| 8. Cañería de lodo | 18. Conexión de lodo giratoria | 27. Cabeza del «casing» |
| 9. Manguerote | 19. Barra de perforación | 28. Línea de retorno de lodo |
| 10. «Goose-neck» | | |

Evaluación ambiental de los almacenamientos subterráneos de gas natural

Lodo de Perforación

El lodo de perforación es un compuesto formado por una suspensión de arcilla en agua con los aditivos necesarios para cumplir las siguientes funciones:

- Extraer el detritus o ripio de la perforación.
- Refrigerar la herramienta de corte.
- Sostener las paredes de la perforación.
- Estabilizar la columna o sarta de perforación.
- Lubricar el rozamiento de la broca con el terreno.

Estos aditivos varían en función de las condiciones geológicas de la roca a perforar, siendo principalmente los formados por: sosa caustica, que actúa como floculante y permite además controlar el pH y, bentonita, que sirve para controlar la viscosidad. Lleva también una serie de componentes minoritarios que varían según la geología atravesada. En cada fase de la perforación se utiliza una mezcla de lodo diferente. Éste se adecua a las formas geológicas que se vayan atravesando.

El propósito de este lodo de perforación, como se ha dicho anteriormente, es refrigerar la broca y la tubería para evitar sobrecalentamientos que puedan provocar fallos en los equipos, además, permite expulsar fragmentos de material perforado para que no obstruyan a la broca perforadora.

El lodo se inyecta bajo presión desde el tanque de mezcla por el interior de la tubería hasta la barrena. Una vez que llega al fondo y refrigera la broca, se recircula hacia la superficie por la parte externa de la tubería anular, es decir, entre la pared de la roca y la tubería, formando así un aglomerado que le da cierta estabilidad al pozo evitando el derrumbamiento durante la perforación. Cuando este lodo alcanza de nuevo la superficie, se filtra y se recircula para poder volver a ser utilizado.

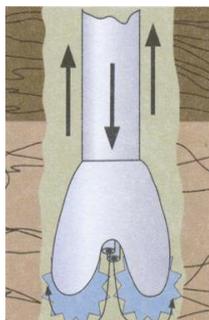


Ilustración 24: Lechada de Cemento

BARRENA DE PERFORACIÓN ROTATORIA

A continuación se muestra una tabla ejemplo, de la composición de lodo de perforación que se utilizó en el caso de Marismas, almacenamiento de gas en yacimiento agotado.

Evaluación ambiental de los almacenamientos subterráneos de gas natural

Tabla 6: Composición de los fluidos de perforación.

Nombre del Producto	Concentración (mg/l)	Uso
Cloruro de Potasio -KCl	713	Fuente de potasio- inhibe las arcillas hidrofílicas
Sosa Caústica- Na(OH)	0-1,426	Control del pH en lodos de base agua.
Soda Ash- Na ₂ (CO) ₃	Sólo si se necesita	Ayuda a precipitar el calcio en lodos de bajo pH
Bicarbonato de Sodio- NaH(CO) ₃	Sólo si se necesita	Precipita el calcio y reduce el pH en lodos contaminados con cemento
XCD Polímero	0-1,426	Viscosidad y suspensión de sólidos en lodos de base agua
Poly-PacUL Celulosa Polianiónica	1,426-5,706	Control del filtrado aportando viscosidad mínima
Poly-Pac R Celulosa Polianiónica	1,426-5,706	Control de filtrado y viscosificador
Polysal Almidón Polisacárido	0-2,853	Almidón para el control del filtrado, viscosidad y control de las arcillas hidrofílicas
Defoam-X Diethypolyxilosane	143-285	Antiespumante para lodos de base agua. Se usará sólo si se necesita
Cal- Ca(OH) ₂	713	Hidróxido de calcio. Fuente de calcio. Incrementa el pH

Fuente: Gas Natural 2009.

Fase de Perforación

La perforación se desarrolla en distintas secciones que varían según se va ganando en profundidad. La realización de cada sección se basa en la perforación del pozo para terminar con el revestimiento de dicho pozo.

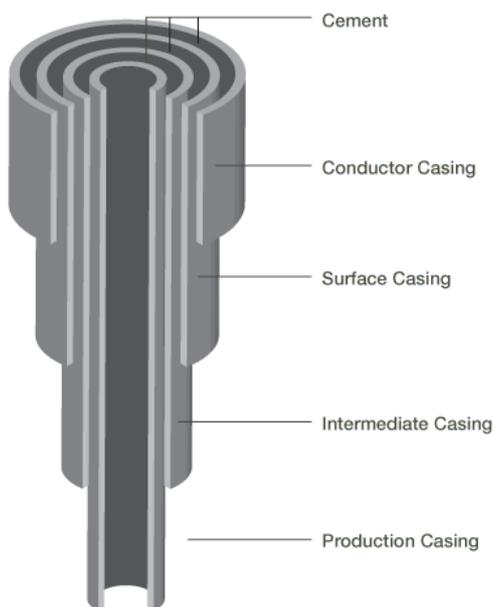


Ilustración 25: Tubería de Producción.

Para la perforación de los pozos en cada una de las secciones, se coloca una broca al final de la barra de perforación, esta broca será la encargada de ir abriendo camino en la roca. Se van acoplando a la barra las distintas secciones según la profundidad en la que se encuentran, es decir, dependiendo de la fase de perforación en la que trabaja.

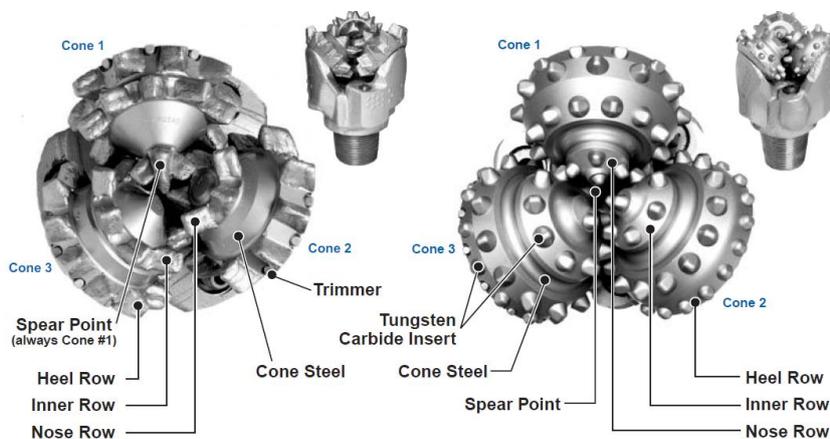


Ilustración 26: Broca de perforación.

Evaluación ambiental de los almacenamientos subterráneos de gas natural

Al finalizar la perforación de cada una de las secciones, se procede a retirar la tubería de sondeo, para ello se van retirando los tramos de la tubería de uno en uno hasta llegar a la broca. En ese momento se procede a introducir un revestimiento del pozo con el propósito de evitar cualquier tipo de contaminación a la roca, sobretodo en el caso de haber acuíferos superficiales atravesados.

Este revestimiento se compone de una tubería pesada de acero inoxidable que sirve también para evitar el derrumbamiento del pozo y permitir su aislamiento del medio atravesado. De esta forma se evita cualquier tipo de contaminación cruzada, ya sea desde el pozo hacia los acuíferos o de los acuíferos al pozo.

Se completa cementando la tubería pesada de acero inoxidable a la pared del pozo, de esta forma la tubería queda bien sujeta y el acuífero queda totalmente aislado. Se consigue haciendo bajar el cemento fresco por dentro de la tubería hasta el final de la zapata de revestimiento, una vez que alcanza el fondo del pozo se le fuerza a subir por el espacio comprendido entre la tubería de acero y las paredes de la roca, también llamado espacio anular.

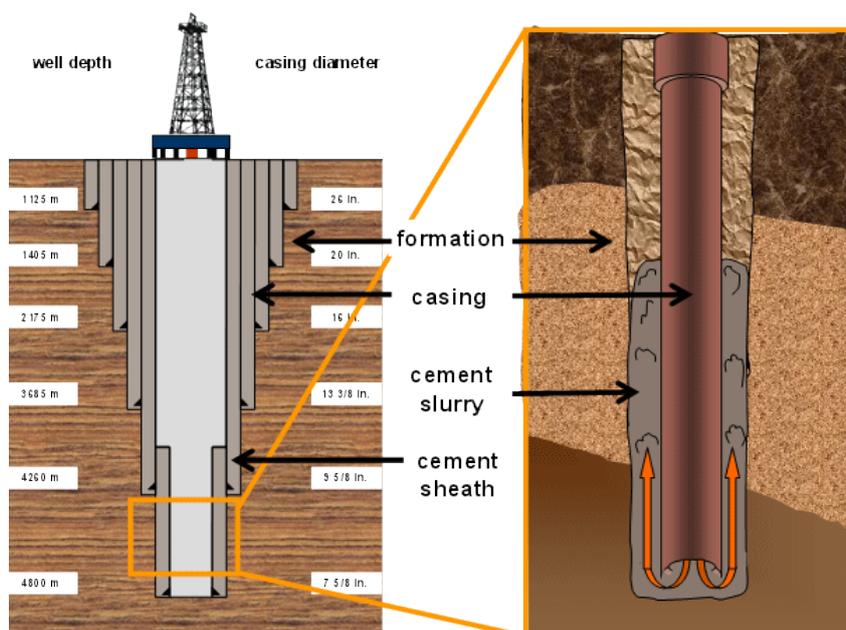


Ilustración 27: Revestimiento.

Evaluación ambiental de los almacenamientos subterráneos de gas natural

Una vez finalizado el revestimiento de una sección, se pasa a la perforación de la siguiente fase. Para ello se vuelve a introducir la barra de perforación con la broca. Se perfora a través del tapón de cemento que se ha formado en el fondo del pozo durante el revestimiento anterior y se continúa avanzando.

La perforación puede ser de tipo vertical o, direccional. La perforación vertical es más sencilla de realizar, no obstante, La perforación direccional presenta varias ventajas respecto a la vertical. Permite evitar obstáculos en el subsuelo o poder realizar el diseño de la planta en superficie disponiendo de todas las cabezas de pozos agrupadas en el mismo emplazamiento para facilitar su operación y mantenimiento, a pesar de que cada uno de estos pozos se dirijan a zonas distintas del almacén o incluso a cavidades independientes.

Además, ofrece cierta flexibilidad a la hora de seleccionar la localización de la planta, ya que no ha de estar en la vertical del almacenamiento, esto resulta muy útil para el caso de almacenamientos situados bajo una zona urbanizada o bajo una zona de especial protección.

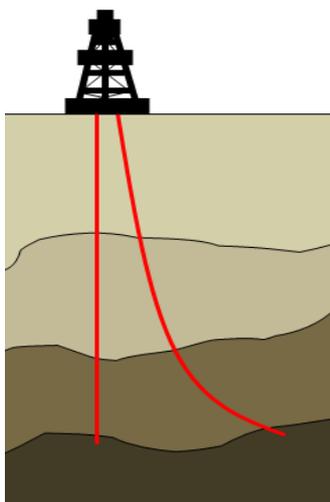


Ilustración 28: Dirección de la Perforación.

7.3.2 DESARROLLO DE LAS CAVIDADES SALINAS

El desarrollo de las cavidades salinas se da en el caso de los almacenamientos en formaciones de sal y se basa en el proceso de lixiviación. Es decir, se inyecta agua en la formación, la cual va disolviendo la roca de sal y creando a su vez una salmuera que sale al exterior, formándose así una cavidad hueca en la roca salina.

El primer paso es similar al resto de almacenamientos. La perforación consiste en la perforación de la roca salina para crear un pozo hasta la profundidad donde se desee desarrollar la cavidad. Por este pozo se realizará la inyección/extracción de gas, aplicándole para ello un revestimiento cementado hasta el tope de la caverna. La principal diferencia respecto a la perforación del resto de almacenamientos reside en la tubería de perforación. Ésta está formada por tres tubos concéntricos, uno para cada uno de los fluidos con los que se hace necesario trabajar; agua, salmuera y gas.

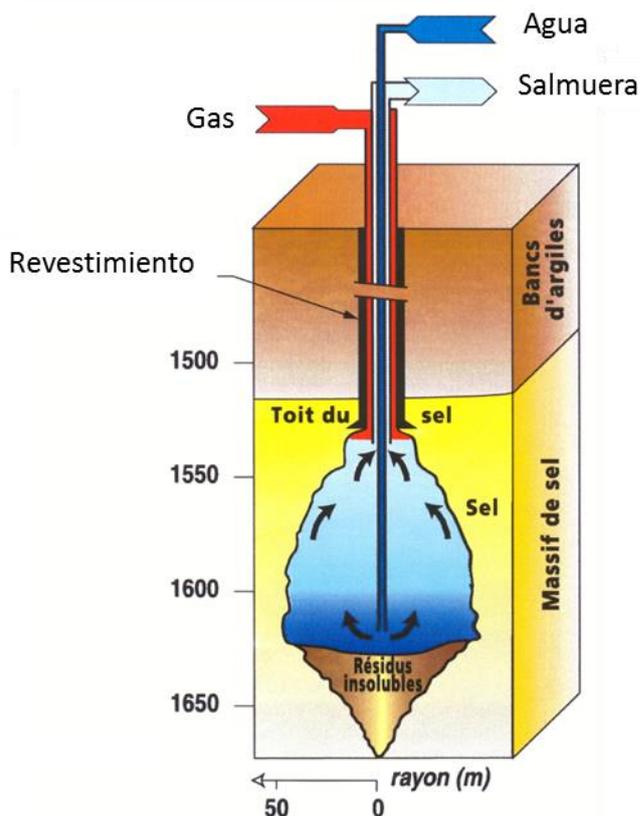


Ilustración 29: Construcción Cavidades Salinas.

Construido ya el pozo hasta lo que será la parte baja de la caverna, se comienza a circular agua dulce para disolver la sal. La salmuera generada debido a la disolución de la sal, se circula hasta la superficie y bien se almacena en balsas para su posterior gestión, o bien se envía por un salmueroducto al mar, en caso de que éste se encuentre próximo. Por lo general son necesarios de 7 a 9 m³ de agua para construir un m³ de cavidad.

Evaluación ambiental de los almacenamientos subterráneos de gas natural

La tubería de producción, puede ser simple o doble, según la caverna se genere por un método continuo o discontinuo.

- **Método continuo:** Se llevan dos tuberías concéntricas hasta la posición donde se situará el fondo de la caverna, quedando la más externa a unos metros por encima de la interior. El agua dulce se inyecta por el espacio anular entre las dos tuberías mientras que la salmuera saturada se recupera por el interior de la tubería central. Para evitar una disolución incontrolada, se bombea a la cavidad un gas licuado, siendo éste generalmente nitrógeno o incluso el propio gas natural. Se consigue formar un tapón de gas en la superficie de la salmuera, también llamado *blanket*, que impide la posible disolución de la parte alta de la cavidad. Conforme la cavidad se va generando las dos tuberías centrales se van levantando desarrollándose así la caverna verticalmente.
- **Método discontinuo:** En este caso, se sitúa una tubería cementada a la altura de la parte alta de la caverna y otra tubería central a través de la cual se inyecta agua dulce y se recupera la salmuera saturada de forma alternativa, es decir, de modo discontinuo. En este caso el papel del tapón de gas es diferente, actuando como un pistón, de forma que al aumentar la presión el nivel desciende empujando la salmuera hacia el exterior. Y del mismo modo, al liberar la presión de gas desde el exterior, el nivel se eleva hasta la parte alta de la caverna, permitiendo la entrada de agua dulce a través de la tubería central. El proceso se repite cuando el agua inyectada se satura. También en este caso la tubería central se va retirando a posiciones más elevadas según avanza el desarrollo de la caverna.

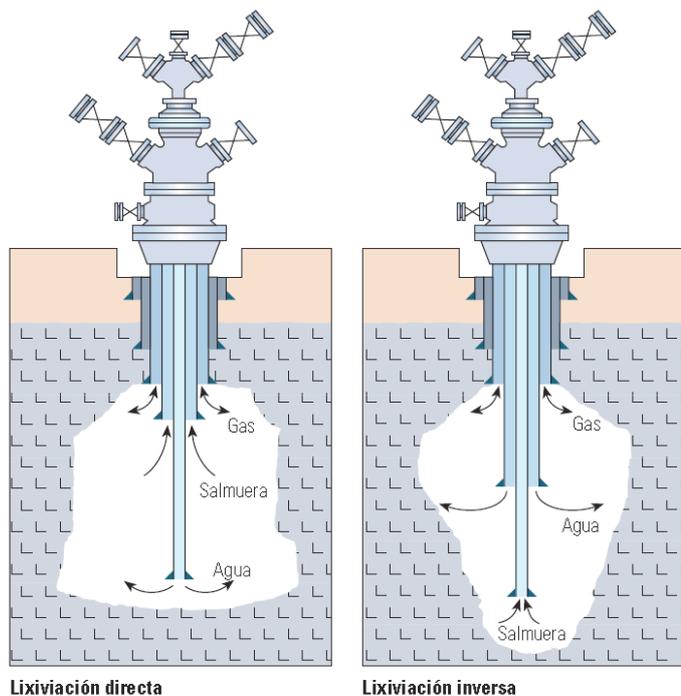


Ilustración 30: Lixiviación de una caverna.

FuenteOlfield 2002.

Evaluación ambiental de los almacenamientos subterráneos de gas natural

Valores típicos de una cavidad salina

Se muestra a continuación una tabla en la que aparecen reflejados los valores típicos de una cavidad salina.

Tabla 7: Cavidad salina.

Profundidad	800 a 1.800 m
Presión de explotación	60-180 Bars
Capacidad de extracción	2 millones m ³ /día/ozo
Diámetro máximo estimado	50 m
Altura máxima estimada	250 m
Volumen útil geométrico	380 000 m ³
Capacidad operativa	40 millones m ³
Capacidad total	65 millones m ³
Gas colchón	25 millones m ³
Volumen de agua a inyectar y de Salmuera a evacuar	3 a 4 millones m ³

Fuente: Oldfield

7.3.3 CONSTRUCCIÓN DE LA PLANTA

La construcción de la planta de superficie consiste en la realización de la obra civil y construcción de las instalaciones que serán necesarias para la fase de operación del almacenamiento.

En la obra en superficie se deben construir los accesos a la planta, la nave donde se instalarán los compresores, las unidades de deshidratación y el resto de equipos auxiliares, así como el gasoducto que conecta el almacén con la red general de distribución y la red eléctrica que le proporcionará el suministro eléctrico en caso de que fuera este necesario, además de los edificios e instalaciones auxiliares.

La obra realizada para la construcción de esta parte será similar a la necesaria para construir una planta industrial.

Evaluación ambiental de los almacenamientos subterráneos de gas natural

7.4 FASE DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

Durante la fase de operación se inyecta o extrae el gas en el almacén según sea necesario. En esta fase entran en funcionamiento todas las instalaciones en superficie para adecuar el gas tanto en la fase de inyección para poder almacenar el gas como en la fase de extracción para poder enviarlo a la red básica de transporte. A continuación se describen dichas instalaciones y los procesos que realizan.

7.4.1 INSTALACIONES DE SUPERFICIE

La mayor parte de los elementos de las instalaciones de superficie son similares en cualquiera de los tipos de almacenamiento que se empleen. Dado que independientemente del medio en el que se inyecta el gas, sea una formación porosa o sea una cavidad, el mecanismo de inyección es el mismo. Si bien en el caso de la unidad de compresión podría variar en cuanto a sus dimensiones y capacidad en función de la presión máxima de operación en cada caso.

Las instalaciones de superficie lo que buscan es, en la fase de inyección, comprimir el gas para almacenarlo consiguiendo las condiciones de presión requerida para vencer la presión del almacenamiento y, en la fase de producción, adecuar el gas que sale del pozo a las especificaciones de calidad necesarias para el suministro a la red general y por tanto al consumidor final.

Se describen a continuación cada una de las instalaciones necesarias describiendo el proceso que realizan. Vamos a distinguirlas según el proceso en el que trabajan.

Proceso de Inyección

En el período de inyección, el gas natural procedente de la red básica se someterá en la planta de superficie a una medición de precisión con objeto de registrar el volumen de gas recibido, así como su composición. El gas sufre un cambio de presión, que se puede realizar en una o en dos etapas, según las necesidades. A continuación se inyectará el gas en el almacén subterráneo a través de las cabezas de pozo instaladas en la planta o en los emplazamientos de los pozos.

Se necesitan una serie de instalaciones que acondicionan el gas para que pueda ser inyectado. El gas debe pasar a través de:

1. **Trampa de Rascadores**

La función de las trampas de rascadores es el mantenimiento y limpieza de las tuberías de la planta antes del cambio de cada ciclo de inyección-extracción.

Evaluación ambiental de los almacenamientos subterráneos de gas natural



Ilustración 31: Trampa rascadores de la planta de Serrablo.

2. Medidores de Ultrasonido

Sirven para medir el caudal de gas que entra en la planta. Sabiendo la composición del gas y teniendo en cuenta los medidores de ultrasonido, se obtiene el caudal que se está inyectando en el almacén.



Ilustración 32: Medidores ultrasonido Serrablo.

3. Compresores

El gas llega de la red básica a una presión que puede oscilar entre los 50 y 60 bares. Para poder inyectar el gas se necesita vencer la presión del yacimiento. Debido a la profundidad a

Evaluación ambiental de los almacenamientos subterráneos de gas natural

la que se encuentran los almacenamientos, se necesita alcanzar al menos una presión de 150 bares. Esto se consigue gracias a los compresores.

Según el salto de presión que se necesite para poder inyectar el gas en el almacén se elegirán unos compresores u otros. Lo normal es tener la fase de compresión del gas en dos etapas puesto que no existen compresores que hagan en una sólo etapa un salto de presión tan importante. Se pueden instalar compresores eléctricos o de gasoil.



Ilustración 33: Turbocompresor Booster de Serrablo.



Ilustración 34: Motocompresores a gas de los pozos de Aurin en Serrablo (funcionan por pistones).

Evaluación ambiental de los almacenamientos subterráneos de gas natural



Ilustración 35: Compresor eléctrico alternativo en Yela.

4. Aerorrefrigeradores

Al aumentar la presión del gas en los compresores, éste aumenta de forma considerable su temperatura, por lo que se necesita refrigerar para poder ser inyectado. Esto se hace con el fin de mantener la metalurgia de las instalaciones y para que no experimente una gran diferencia de temperatura con el yacimiento. Esta refrigeración del gas se consigue mediante el uso de los aerorrefrigeradores, los cuales permiten un intercambio de calor con el aire.



Ilustración 36: En el círculo rojo de la imagen vemos el aerorrefrigerador de un turbocompresor de Serrablo

Proceso de Extracción

Para distribuir el gas a la red básica después de su extracción, éste debe ser tratado con el fin de adaptarlo a las especificaciones requeridas por el sistema, tanto relativas al punto de rocío como a los niveles de presión y temperatura.

Para extraer el gas basta con abrir su correspondiente válvula del pozo. Puesto que el gas se encuentra en el subsuelo a una presión superior a la atmosférica, el gas tiende a salir a la superficie por sí sólo. El gas extraído, puede contener cantidades variables de los fluidos

Evaluación ambiental de los almacenamientos subterráneos de gas natural

originales del almacén, agua, petróleo residual y otros contaminantes, dependiendo del tipo de almacenamiento. Por este motivo el gas necesita ser tratado.

1. Inyección de Metanol

Únicamente se inyecta metanol en los arranques de la campaña de producción con el objetivo de evitar la formación de hidratos que pueden llegar a bloquear la tubería de producción de gas. Es necesario inyectar en las tuberías este reactivo que actúa como un anticongelante, ya que durante las primeras extracciones, el gas sufre una disminución súbita de presión lo que provoca una bajada de la temperatura. Se inyecta el metanol hasta que se observe el funcionamiento normal del pozo, lo cual suele ser de entre 1 y 2 días aproximadamente. Se irá recogiendo este metanol durante estos primeros días.



Ilustración 37: Sistema de inyección de metanol en Serrablo.

El metanol se separará del gas extraído, se recoge en una columna de regenerador de metanol, consiguiendo así recuperar el volumen total inyectado.

Evaluación ambiental de los almacenamientos subterráneos de gas natural



Ilustración 38: Columna de regeneración de metanol en Serrablo.

2. Separadores por Gravedad.

Desde que se extrae el gas en las cabezas de pozo y hasta que llega a las unidades de secado, el gas atraviesa unos separadores por gravedad. Estos separadores permiten que el agua libre que arrastra el gas precipite. Tienen una ligera pendiente para facilitar la separación entre el gas y el agua, la cual va decantando por la propia gravedad a lo largo de la tubería del separador. De esta manera se consigue que el gas llegue a la torre de secado con un menor contenido de agua.



Ilustración 39: Separadores de Serrablo.

3. Torres de Secado (TEG)

El gas sale del filtro-separador prácticamente exento de agua líquida, aunque saturado de humedad. Se consigue una reducción del contenido de vapor de agua en el gas mediante una unidad de deshidratación.

Evaluación ambiental de los almacenamientos subterráneos de gas natural

El funcionamiento de dicha unidad consiste en hacer circular la corriente de gas húmedo en contracorriente con el trietilenglicol (TEG) en la torre de secado. Las propiedades del TEG hacen que absorba el agua contenida en el gas, de forma que éste sale deshidratado hasta el nivel especificado. El TEG recogido en la parte inferior de la torre será regenerado para su posterior reutilización.



Ilustración 40: Torres secado Serrablo.

4. Torres de Regeneración del TEG

Una vez utilizado el TEG en el proceso de deshidratación, se lleva a un proceso de destilación en las torres de regeneración. Alcanzando una temperatura de 200°C el agua se evapora junto con el posible gas que se haya quedado. Mientras que el TEG, con punto de ebullición 220°C, sale en fase líquido. El gas es separado del agua y es eliminado en el quemador para recuperar el calor.

Evaluación ambiental de los almacenamientos subterráneos de gas natural



Ilustración 41: Regenerador TEG de Serrablo.

El TEG obtenido es recirculado a la torre de secado. Una vez que este TEG se ha usado durante muchos años y ha perdido por lo tanto sus propiedades, esto ocurre después de varios ciclos de trabajo, será retirado y gestionado por un gestor autorizado.

5. Sistema de recirculación de gases

Sistema adicional que se usa para recirculación de los gases, permitiendo el aprovechamiento del gas en caso de que existieran pérdidas por posibles fugas a lo largo de su paso por las distintas instalaciones en la planta.



Ilustración 42: Rack de tuberías de Yela.

Evaluación ambiental de los almacenamientos subterráneos de gas natural

6. Separación de otros reactivos

En el caso de los yacimientos depletados, el gas puede salir mezclado con restos de hidrocarburos antiguos del yacimiento que hayan quedado, por lo que se hace necesario su tratamiento.

Se dan casos en los cuales el gas contiene H_2S , CO_2 o incluso fracciones de petróleo, entonces el gas será lavado con distintos reactivos. Para eliminar el H_2S se llevará a cabo un lavado con monoetanol amina, dimetil amina o trimetil amina. Y en el caso que el gas incorpore CO_2 , éste se separará mediante lavado en torres de aminas o sistemas de membrana.

7. Sistema de odorización

El gas Natural extraído debe llegar al consumidor con un olor distintivo, para reconocer su presencia fácilmente. Este olor característico se consigue con odorizantes, es decir, mediante la inyección de THT (Tetrahidrotiofeno) y se incorporará a la red básica general.



Ilustración 43: Sistema odorización Serrablo.

8. Sistema de Evacuación de Gases: Antorcha o Venteo

El sistema de evacuación de gases se refiere a un sistema de seguridad que sirve para evacuar las eventuales fugas de gas que se produzcan en caso de emergencia, cuando se producen sobrepresiones en los circuitos de la instalación o si es necesario despresurizar un tramo de la instalación, principalmente por motivos de seguridad.

La antorcha consiste en un sistema de oxidación térmica, por el cual se quema el gas excedente emitiendo así a la atmósfera gases de CO_2 . Debido a las normativas A.P.I. por las que se rige esta industria, la antorcha de un almacenamiento debe estar siempre preparada

Evaluación ambiental de los almacenamientos subterráneos de gas natural

por si se produce una emergencia, esto implica que esté encendida 24 h al día con una pequeña llama.

Un sistema de venteo es otro sistema por el cual se evacua el gas directamente a la atmósfera, sin ningún tipo de tratamiento. Por este motivo mientras la planta se encuentra en operación normal, el sistema de venteo no emite ningún gas de efecto invernadero a la atmósfera. Estas emisiones sólo se producirían en casos puntuales.

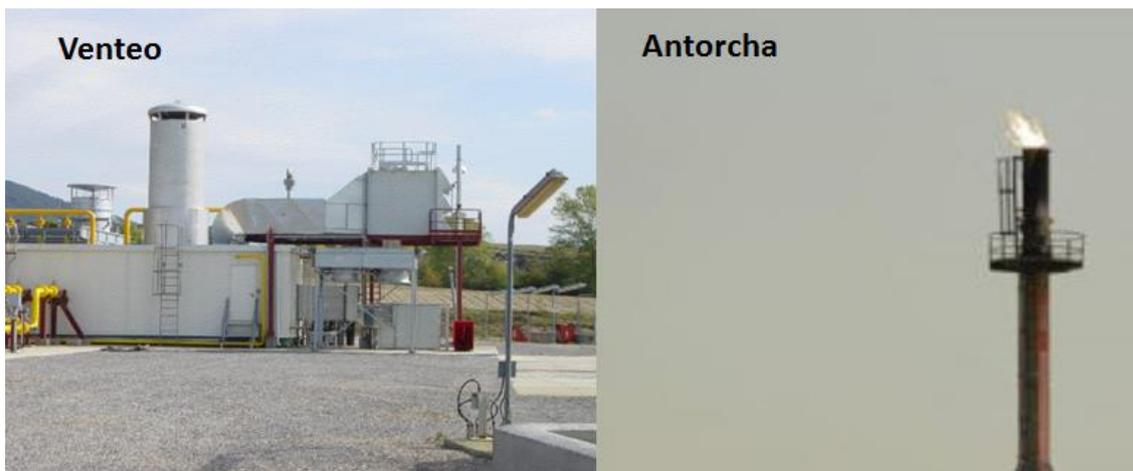


Ilustración 44: Sistema de seguridad: Venteo (Izq.) y Antorcha (Der.).

9. Tratamiento de las aguas de proceso obtenidas

Las aguas obtenidas del proceso de tratamiento se pueden tratar de distinta manera, a continuación se muestran las dos opciones más comunes.

- Reinyección de aguas de proceso. El agua que se consigue separar durante la fase de tratamiento de gas, es reinyectada de nuevo al almacén mediante un pozo de inyección de agua. El agua reinyectada debe cumplir unas condiciones de calidad que aseguren que no se va a contaminar el acuífero profundo.
- Balsa de evaporación. Uno de los tratamientos que se le puede dar al agua separada del gas durante el tratamiento de gases, es el llevarla a una balsa de evaporación para eliminarla.
Las balsas están diseñadas para que en operación normal el agua sea evaporada sin la necesidad de mecanismos térmicos complementarios. Este sistema presenta unas limitaciones por las cuales no es óptimo para tratar grandes volúmenes de agua.
- Vertido al medio. En el caso que hubiese alguna estación depuradora de aguas o cualquier otra instalación capaz de tratar esta agua o de que las condiciones de vertido lo permitiesen, sería posible verter el agua directamente al entorno.

Evaluación ambiental de los almacenamientos subterráneos de gas natural

Instalaciones auxiliares**1. Tanques de almacenamiento de metanol, de TEG y de agua de proceso**

Los residuos de metanol y de TEG, es decir, cuando los compuestos llevan muchas horas de recirculación y ya pierden sus características químicas originales, son almacenados en tanques, a la espera de la llegada de un gestor autorizado para su recogida. Los tanques se instalan sobre cubetos de retención que eviten el vertido del contenido al suelo en caso de accidente o de fuga del compuesto químico.



Ilustración 45: Tanque de metanol en Serrablo.

El agua de proceso también puede ser almacenada temporalmente en tanques hasta su reinyección.

2. Sistema contra-incendios

Este tipo de instalaciones disponen de sistemas automáticos contra incendio el cual se acciona en cuanto se detecta algún tipo de anomalía. Cuando se activa la alarma antincendios, el operador de la planta sólo dispone de 30 segundos para comprobar que no es una falsa alarma. En caso de no hacerse nada, se activa automáticamente y suelen tener capacidad para suministrar agua durante un par de horas, dando tiempo a los bomberos y demás equipos de emergencia a llegar a la instalación.

Se cuenta con una instalación donde se encuentran las bombas de agua que alimentan el sistema contra incendios. Este sistema sólo se activa en caso de producirse un accidente en la planta.

Evaluación ambiental de los almacenamientos subterráneos de gas natural

3. Punto limpio

Lugar adecuadamente acondicionado para el almacén y la correcta gestión de los residuos generados durante la fase de operación.

4. Edificios de control y oficinas

Edificio donde se encuentran los puntos de trabajo de las personas que operan la planta. En el que se ubicarán las oficinas de los operarios así como la sala de control desde la que se operará toda la planta.

7.5 DESMANTELAMIENTO

La vida legal de estos almacenamientos lo marca la concesión de explotación que concede el Ministerio de Industria y suele ser de unos 30 aproximadamente. Una vez finalizado el permiso se procederá, o no, a su renovación. Si no se renueva se deberá desmantelar la instalación tal y como pone en su autorización administrativa. Las instalaciones de superficie deberán retirarse y los pozos deberán entregarse sellados y abandonados, pasando a ser propiedad de las autoridades competentes. Finalmente no deberá quedar rastro aparente de la instalación.

Para el abandono de los pozos, es necesaria la retirada de la tubería de producción dejando la tubería de revestimiento. Los pozos son inventariados y sellados colocando 3 tapones de cemento a diferentes profundidades para que se puedan reabrir en caso de ser necesario. En superficie se sellan empleando una losa de hormigón que queda cubierta por tierra, evitando cualquier peligro de caída.

En el caso de las instalaciones de superficie, se debe llevar a cabo el plan de desmantelamiento y abandono. Éste es similar al abandono de instalaciones industriales. Es necesario el desmontaje de todos los quipos así como el sistema de tuberías, los edificios y demás instalaciones auxiliares para lograr devolver a su estado inicial la zona afectada.

Deberán retirarse todos los residuos clasificándolos, etiquetándolos y almacenándolos de forma adecuada. Estos serán entregados a un Gestor Autorizado que se haga cargo de su correcta gestión.

Tras la retirada de todos los materiales se procederá a la restauración de la zona intentando recuperarla para que quede como estaba antes de empezar la actividad. Todas estas acciones se realizarán mediante métodos mecánicos, utilizando maquinaria pesada. Las acciones llevadas a cabo, tienen unos impactos similares a los que podría tener la fase de construcción, sin tener en cuenta los asociados a la perforación.

8 IMPACTOS

Se han identificado los impactos que podrían producir este tipo de proyectos. Para ello se han tenido en cuenta las acciones de proyecto llevadas a cabo durante las distintas fases del proyecto:

- Estudios previos: Fase de Exploración e Investigación
- Fase de Construcción
- Fase de Operación
- Fase de Desmantelamiento

Con este fin se ha realizado una lista de acciones de proyecto en la que aparecen todas las acciones capaces de realizar una afección sobre su entorno, requeridas para realizar alguno de los tipos de almacenamiento que se está estudiando. Se ha construido una matriz de identificación para cada tipo de almacenamiento, en las que por un lado están las acciones de proyecto y por el otro los factores ambientales susceptibles de ser afectados. Una vez realizadas, se construyó una matriz síntesis (Anexo 1). Con estas matrices se han identificado los siguientes impactos potenciales:

Tabla 8: Lista de impactos producidos por la realización de un proyecto genérico en tierra, de almacenamiento en subsuelo de gas natural.

IMPACTOS AMBIENTALES		
Fase de investigación	1	Incremento del nivel de partículas en el aire por movimientos de maquinaria
	2	Incremento del nivel de gases de efecto invernadero por uso de maquinaria pesada
	3	Incremento del nivel sonoro debido al uso de maquinaria pesada y movimientos de tierra
	4	Incremento del nivel sonoro debido a las técnicas de generación de ondas en los estudios sismológicos *
	5	Contaminación por vertidos de agua salada procedentes del acuífero profundo durante las pruebas dinámicas *
	6	Compactación del suelo
	7	Riesgo de contaminación del suelo y de las aguas superficiales y subterráneas por manejo de productos o residuos
	8	Consumo de agua
	9	Contaminación de acuíferos, por los lodos de perforación
	10	Eliminación del suelo
	11	Eliminación de la vegetación
	12	Afección sobre la fauna
	13	Afección sobre la arqueología
	14	Creación de empleo directo e indirecto y reactivación de la economía local
	15	Afección a espacios naturales
	16	Afección sobre el bienestar de la población y Oposición Social *
	17	Incremento del nivel de partículas en el aire por movimientos de maquinaria y otras acciones de proyecto

Evaluación ambiental de los almacenamientos subterráneos de gas natural

Fase de Construcción	18	Incremento del nivel de gases de efecto invernadero por uso de maquinaria pesada y otras acciones de proyecto
	19	Incremento del nivel sonoro debido al uso de maquinaria pesada y movimientos de tierra, etc.
	20	Modificación de la geomorfología
	21	Eliminación del suelo
	22	Eliminación de la vegetación
	23	Afección sobre la fauna
	24	Afección sobre la arqueología
	25	Consumo de agua*
	26	Riesgo de contaminación del suelo y de las aguas superficiales y subterráneas por manejo de productos o residuos
	27	Contaminación de acuíferos, por los lodos de perforación*
	28	Contaminación del entorno por vertidos salinos*
	29	Riesgo de erosión
	30	Alteración visual
	31	Alteración de los usos del suelo
	32	Alteración de espacios naturales
	33	Alteración del patrimonio histórico artístico o etnográfico
	34	Mejora de viales
	35	Alteración de viarios rurales
36	Creación de empleo directo e indirecto y reactivación de la economía local	
Fase de Operación	37	Emisión de gases de efecto invernadero*
	38	Incremento de los niveles sonoros por las instalaciones de superficie
	39	Contaminación de acuíferos por gas*
	40	Contaminación del suelo, de las aguas superficiales o subterráneas por productos químicos o residuos
	41	Riesgo de accidente, incendios y explosión**
	42	Riesgo de sismicidad inducida**
	43	Contaminación de las aguas por vertidos
	44	Contribución al funcionamiento del sistema gasista y a las reservas de las estrategias de energía*
Fase Desmantelamiento	45	Incremento del nivel de partículas en el aire por movimientos de maquinaria y otras acciones de proyecto
	46	Incremento del nivel de gases de efecto invernadero por uso de maquinaria pesada y otras acciones de proyecto
	47	Incremento del nivel sonoro debido al uso de maquinaria pesada y movimientos de tierra, etc.
	48	Afección sobre la fauna
	49	Consumo de agua
	50	Riesgo de contaminación del suelo y de las aguas superficiales y subterráneas por manejo de productos o residuos
	51	Alteración visual
	52	Alteración de los usos del suelo

Evaluación ambiental de los almacenamientos subterráneos de gas natural

53	Alteración de viarios rurales
54	Restitución del suelo y de la materia vegetal
55	Eliminación de las infraestructuras

Marcados en azul:

**Impactos específicos de este tipo de instalaciones.*

***Riesgos que por su naturaleza deben ser considerados bajo un análisis de Riesgos Ambientales.*

8.1 CARACTERIZACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES

Para la caracterización de impactos, se ha seguido una metodología aplicada con los siguientes atributos.

Carácter del impacto: Se refiere a la incidencia que puede tener el impacto sobre un factor ambiental con respecto al estado previo a que se realizase la actuación; este puede ser beneficioso, en cuyo caso sería positivo, o perjudicial caracterizado como negativo.

Inmediatez: Se refiere a si el impacto se produce inmediatamente sobre el factor ambiental (directo) o si por el contrario, el efecto de éste es debido a la interdependencia de varios factores (indirecto).

Persistencia: Refleja la persistencia o duración del impacto. Se valora el tiempo que tarda el efecto en volver a las condiciones iniciales, previas a la acción. Se han caracterizado los impactos según fuesen permanentes, su efecto origina una alteración indefinida, mientras que se entiende como temporal, cuando se produce durante un plazo limitado.

Momento: Hace referencia al plazo en que se manifiesta el impacto. Se puede distinguir entre: impactos a corto plazo, si se producen antes de un año; medio plazo, si se origina antes de cinco años; impactos a largo plazo, si sus efectos se manifiestan en un tiempo mayor.

Sinergia: Hace referencia a aquellos impactos que se producen como consecuencia de varias acciones y cuya incidencia resultante es mayor a la suma de los efectos producidos por los impactos individuales.

Acumulación: Se considera que un impacto es acumulativo cuando su efecto se incrementa al añadir impactos producidos por otras acciones. En caso de que la magnitud del impacto no se vea afectada, se considera que es un impacto simple.

Reversibilidad: Un impacto puede ser permanente, en caso de que no se pueda volver a la situación inicial mediante procesos naturales una vez que la acción que produjo el efecto deje de producirse. Se entiende como impactos irreversible, si los procesos naturales por sí mismos, no son capaces de recuperar la situación inicial en la que se encontraba el medio antes de que se produjera el impacto.

Recuperabilidad: Hace referencia a la posibilidad de reconstruir total o parcialmente la afección producida como consecuencia del proyecto, por medio de la intervención humana. Se considera recuperable, cuando es posible realizar medidas correctoras que disminuyan o mitiguen el efecto producido por la acción. Cuando no se pueden llevar a cabo medidas de mitigación, se considera que el impacto es irrecuperable.

Evaluación ambiental de los almacenamientos subterráneos de gas natural

Periodicidad: Este atributo hace referencia a la regularidad con la que se manifiesta un efecto, ya sea de manera continua, cuando los efectos se producen de forma constante en el tiempo o discontinua, cuando no es así. En caso de que el efecto del impacto no se produzca de forma continua, se valora su periodicidad, si es regular, pero intermitente, o de forma esporádica.

La matriz de caracterización de impactos se encuentra en el Anexo 2.

Evaluación ambiental de los almacenamientos subterráneos de gas natural

8.2 DESCRIPCIÓN DE IMPACTOS Y MEDIDAS

Tras haber identificado y caracterizado todos los impactos potenciales, se analizarán en detalle los impactos característicos de este tipo de proyectos, analizando de qué manera se producen en función de la tipología de los almacenamientos. Finalmente se han indicado las medidas que se consideren necesarias para poder reducir dichos impactos. Estas pueden ser de dos tipos:

- Medidas Protectoras: se refiere a medidas destinadas a evitar que se produzca el impacto. Este tipo de medidas se toman antes de que se produzca el impacto. Se deben aplicar los principios de prevención frente a la posible degradación del entorno.

- Medidas Correctoras: este tipo de medidas buscan que el impacto sea el menor posible, disminuyendo su efecto sobre el entorno. Se deben seguir criterios ecológicos, culturales y paisajísticos, para conseguir integrar la infraestructura en su entorno.

A continuación se procede a explicar los impactos ambientales característicos identificados en la lista anterior.

8.3 ESTUDIOS PREVIOS: FASE DE EXPLORACIÓN E INVESTIGACIÓN

8.3.1 INCREMENTO DEL NIVEL SONORO DEBIDO A LAS TÉCNICAS DE GENERACIÓN DE ONDA EN LOS ESTUDIOS SISMICOS

Uno de los estudios principales durante esta fase es la realización de sísmicas, esta técnica consiste en la generación de ondas en la superficie mediante pequeñas detonaciones con explosivos o vibraciones con camiones vibradores. Estas ondas, se van transmitiendo por las distintas capas geológicas. Gracias a la información recogida en los geófonos los datos del



Ilustración 46: Técnicas para la realización de sísmicas: explosivos (Izquierda), camión vibrador (Centro), geófono (Derecha).

Evaluación ambiental de los almacenamientos subterráneos de gas natural

subsuelo son procesados en el laboratorio e interpretados. Con este método se conoce la disposición estratigráfica de las capas geológicas.

El método más utilizado son los camiones vibradores o vibros que producen ruido al golpear con el martillo el suelo para generar las ondas. La magnitud del ruido es baja, no siendo un impacto mayor al producido por cualquier máquina pesada en funcionamiento. En el caso de los explosivos enterrados, tampoco supondrá un gran impacto, ya que el ruido producido se asemeja al de un disparo de escopeta.

La zona afectada por la investigación variará en extensión en función del tipo de almacenamiento para el cual se esté realizando ésta. En el caso de almacenamientos depletados, se reducirá a la zona dónde se encuentre el yacimiento, ya que su localización se conoce desde que se hizo la campaña de búsqueda de hidrocarburos para su explotación. Lo mismo ocurre en el caso de las cavidades mineras. Sin embargo en el caso de almacenamientos en acuíferos o en cavidades salinas, se pueden llegar a estudiar cientos de hectáreas para intentar localizar el emplazamiento adecuado del almacenamiento.

Una campaña sísmica puede ser muy extensa en el tiempo, ya que incluye el diseño del proyecto, la recogida de datos y el análisis de los mismos. Sin embargo el impacto se restringirá a los 6-12 meses que puede durar la adquisición de los datos en campo, si bien en un emplazamiento concreto, solo dura unas semanas.

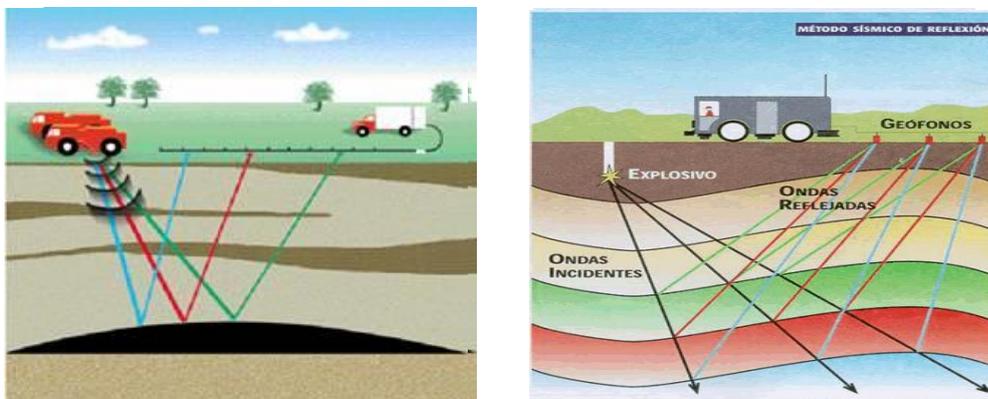


Ilustración 47: Sísmica con camión vibrador (Izquierda) y con explosivos (Derecha).

Debido al gran espacio físico y a la magnitud del impacto es difícil poner medidas correctoras o preventivas que disminuyan el impacto.

- Como medida preventiva es importante que la maquinaria pesada esté en buenas condiciones y perfectamente revisada. De esta manera se podrá garantizar que ésta, producirá el mínimo ruido posible.
- Durante la realización de las sísmicas, se deberá diseñar un plan de trabajo que evite la realización de las tareas en horarios nocturnos ya que es en este horario existe una mayor sensibilidad del medio.

Evaluación ambiental de los almacenamientos subterráneos de gas natural

- Cuando se instala una carga explosiva, esta debe quedar suficientemente enterrada, de esta manera la onda se transmitirá de forma correcta a través de las distintas capas de la geología. Este hecho, además de ser la forma correcta de colocar los explosivos, permite disminuir el impacto sonoro, por esta razón se debe controlar la profundidad y la ubicación a la que se colocan las cargas para minimizar su impacto.
- Se deben realizar planes de seguimiento y monitoreo del ruido producido. De esta forma se podrá controlar el impacto producido, y tomar medidas en caso de que sea necesario.

8.3.2 CONTAMINACIÓN POR VERTIDOS DE AGUA SALADA PROCEDENTES DEL ACUÍFERO PROFUNDO, DURANTE LAS PRUEBAS DINÁMICAS

En los almacenamientos subterráneos en medio poroso, es necesario realizar pruebas que permitan determinar el movimiento de los fluidos a través de la roca. A este tipo de pruebas se las denomina pruebas dinámicas.

Éstas consisten en realizar inyecciones o extracciones de un fluido, normalmente agua o gas, en uno de los pozos de investigación. Mediante el control de la presión en los pozos próximos se obtiene el comportamiento de la roca al movimiento de fluidos.

En la figura que se muestra a continuación, se observa un ejemplo de prueba dinámica. Se inyecta o bombea agua en el pozo 1, midiendo la presión en los pozos 2 y 3.

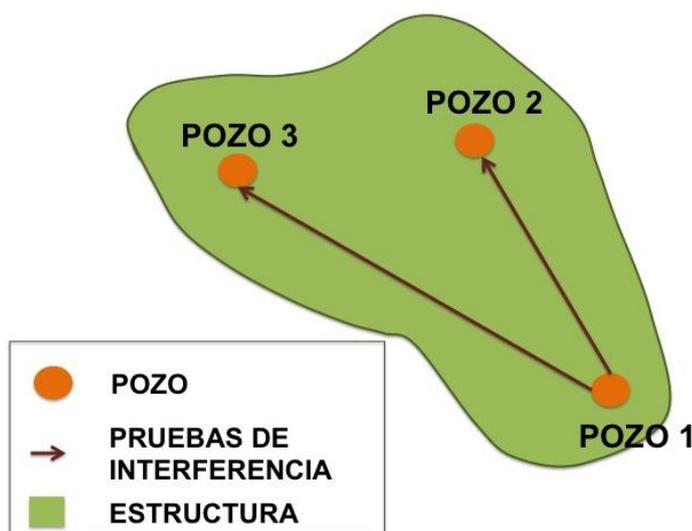


Ilustración 48: Esquema de una prueba dinámica.

Gracias a la información recogida mediante estas pruebas, se puede conocer la movilidad de los fluidos a través de la roca y se podrán realizar curvas de presión determinando la inyectabilidad del almacén. Estas pruebas son imprescindibles ya que pueden existir interferencias o abatimientos que hagan inviable el proyecto.

Evaluación ambiental de los almacenamientos subterráneos de gas natural

Como se indica anteriormente, este impacto es exclusivo de almacenamientos en medio poroso y, viene dado por la necesidad de gestionar el agua bombeada desde el acuífero. La duración de estas pruebas varía entre según el permiso de vertido, si no se obtiene este permiso, debe ser retirada mediante un gestor lo cual supone un mayor coste y se reducirá este tipo de pruebas. Durante este tiempo se extraerá el agua necesaria para llenar varios camiones cisterna.

Para evitar los impactos debidos al vertido del agua salada proveniente del subsuelo, se deben llevar a cabo una serie de medidas:

- Se deberá asegurar que el pozo de investigación se encuentra sobre un antepozo debidamente impermeabilizado realizar una correcta impermeabilización de la zona que rodea el pozo. De esta forma se asegurará que no se producirán vertidos al suelo, evitando posibles contaminaciones.
- La manipulación de los fluidos siempre será por personal experimentado y utilizando maquinaria perfectamente revisada. De esta manera se reducirán al máximo los pequeños vertidos que se pueden producir durante el manejo de los fluidos y se minimizará el riesgo de que se produzca este impacto.
- El agua extraída del pozo se deberá gestionar de manera correcta, por tanto, es necesario definir un plan para la eliminación de este efluente, ya sea mediante un gestor o localizando alguna industria que le pueda dar uso.

Evaluación ambiental de los almacenamientos subterráneos de gas natural

8.3.3 BIENESTAR DE LA POBLACIÓN Y OPOSICIÓN SOCIAL

Actualmente en España existe una cierta oposición social contra la industria de los Hidrocarburos. Este rechazo se ha generado tras el conocimiento por la opinión pública de ciertos proyectos tanto nacionales como internacionales, que han sufrido fallos y que debido a estos han terminado causando molestias en la población. El desconocimiento de las situaciones concretas en las que se llevaron a cabo estos proyectos, puede ocasionar oposición al desarrollo de un proyecto de almacenamiento de gas dónde no tienen por qué producirse estas afecciones.

Todo proyecto en el que se lleve a cabo la construcción y operación de una instalación industrial puede afectar al bienestar de la población. La afección que puede producir puede ser debida al ruido, al tráfico generado por la actividad, a las emisiones atmosféricas... Los almacenamientos subterráneos tendrán asociados una serie de riesgos que se deberán gestionar correctamente.

Si se diera la exposición a una actividad potencialmente peligrosa, ésta provocaría una importante repercusión en el bienestar de la población. Debido a un accidente el bienestar de la población podría ser afectada con un impacto negativo de gran magnitud. Este impacto será similar para todos los tipos de almacén.

Es importante por ello antes de la fase de operación sensibilizar a la población, ya que ésta ante el desconocimiento suele responder negativamente y sentirse insegura ante una instalación de ese tipo. Así mismo el aumento de actividad en los alrededores puede aumentar otros impactos que repercutirán sobre la población por aumento de la contaminación en distintos medios.

Las medidas

- Todas las medidas descritas en este informe, para los impactos identificados, contribuyen a evitar la afección sobre el bienestar social y la salud humana.
- Para evitar la oposición social, se debe hacer hincapié en la realización de planes de sensibilización e información a la población.

8.4 FASE DE CONSTRUCCIÓN

8.4.1 CONSUMO DE AGUA

El consumo durante la construcción de este tipo de instalaciones es similar a las de cualquier otro proyecto, salvo el consumo derivado de la perforación pozos y el desarrollo de las cavidades. Como ya se ha comentado anteriormente, los lodos de perforación consumen un gran volumen de agua. Éstos mantienen lubricada la cabeza de perforación y enfrían la broca, así como mantiene la estabilidad del pozo. Además, sirve para la retirar los ripios de perforación. El agua utilizada para a perforación se recupera en las balsas de lodos.



Ilustración 49: Necesidad de agua.

Dependiendo del tipo de geología, se producen mayores o menores pérdidas de lodo, por tanto, el consumo lo marcará la columna geológica donde se encuentre el almacén. Sin embargo, la magnitud de este consumo es muy poco significativa en comparación con el agua consumida en los almacenes salinos para la lixiviación de las cavernas y es en este aspecto en el que se centra el análisis del impacto.

En el caso de los almacenamientos en cavidades salinas este impacto es muy significativo ya que el agua no se limita a perforar el pozo. Al consumo requerido para perforar el pozo, se le añade el necesario para disolver la sal y formar la cavidad. Se debe realizar un consumo continuo y significativo durante todo el proceso de disolución de la caverna. Se utiliza aproximadamente unos 8 m³ de agua por cada m³ de cavidad construido. Dos cavidades pequeñas de 500.000 m³ tendrán un consumo de agua de 8 millones de m³ en los aproximadamente 2 años, que tardarían en crearse, lo que equivale a un consumo de alrededor de 4,5 piscinas olímpicas diarias. Sin embargo puede haber cavidades mucho más grandes, existen cavidades en Francia que miden más de 400 m de profundidad y 80 de ancho. Espacio suficiente para albergar La Torre Eiffel de París, en su interior.

Evaluación ambiental de los almacenamientos subterráneos de gas natural

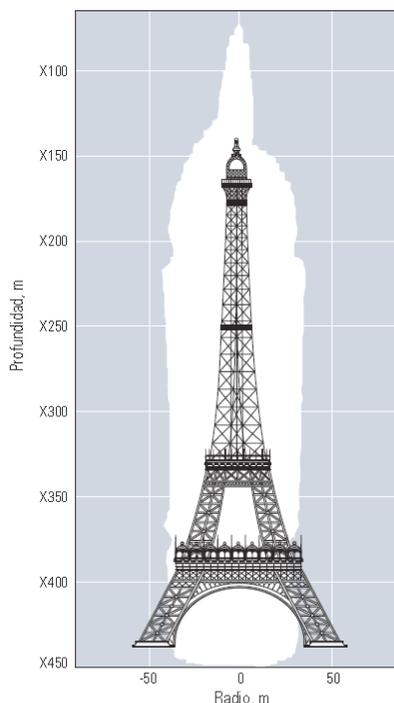


Ilustración 50: Lixiviación de una cavidad salina. Fuente OilfieldReview 2002.

Es necesario adoptar una serie de medidas que disminuyan el impacto:

- Realización de un estudio previo de las demandas de agua en la zona para evitar competir con otros usos existentes del agua. El agua es un recurso necesario para consumo humano y la construcción de un almacenamiento no debe interferir en el consumo necesario para la población.
- Asegurar un caudal ecológico adecuado para garantizar la calidad ambiental del entorno. El agua se capta de ríos o lagos cercanos al lugar donde se realiza el proyecto, estos tienen unas características que permite que animales y plantas puedan habitar allí por lo que se tiene que asegurar que estos puedan seguir habitando en el lugar sin verse afectados.
- Utilización agua no apta para el consumo humano. Tal como se ha mencionado no debe verse afectada la población por ello se deberá utilizar agua que no se apta para el consumo humano.
- Evitar el consumo de agua durante la época de sequía. Durante esta época existe una mayor evaporación y por tanto baja el caudal de ríos y el volumen de lagos por lo que retirar agua en este periodo puede llevar a afectar al caudal ecológico previamente mencionado.

Evaluación ambiental de los almacenamientos subterráneos de gas natural

8.4.2 CONTAMINACIÓN DE LOS ACUÍFEROS POR LOS LODOS DE PERFORACIÓN

Al atravesar las distintas capas del subsuelo hasta alcanzar la estructura objetivo, es necesario atravesar todo lo que contengan. Durante la perforación se pueden atravesar varios acuíferos, que podrían llegar a contaminarse por los lodos utilizados en la misma. Por ello este impacto se puede producir durante la construcción de los pozos. Las causas que podrían provocar este impacto serían:

- Los químicos utilizados como aditivos para formar los lodos, estos aditivos sirven para minimizar la fricción y para refrigerar, pudiendo llegar hasta el agua de los acuíferos y provocar la contaminación.
- La pérdida de la integridad del pozo durante su construcción puede producir la contaminación de formaciones rocosas atravesadas, así como de las aguas subterráneas. Dependiendo de la naturaleza del medio y del tipo de contaminante, variará la gravedad de la contaminación.
- Se podría producir un fallo en el revestimiento del pozo. Un fallo en el revestimiento del pozo, desembocando en un mal sellado del tubo.
- Es esencial que se haga un adecuado manejo del lodo en la boca del pozo. En caso de que no sea adecuado se podría producir una alteración en la calidad del acuífero.

La capa más sensible es la que se encuentra en la zona más superficial, ya que es en esta parte dónde se encuentran los acuíferos aprovechables para el consumo humano. Como ya se ha comentado, tras cada fase de perforación, se cementará la tubería de revestimiento evitando cualquier tipo de contaminación producida por los lodos utilizados en secciones más profundas. Dependiendo de la columna geológica los lodos utilizados serán en una base adecuada a esta, en general los lodos utilizados para este tipo de proyectos son en base agua los cuales son menos contaminantes que los que utilizan otras bases.

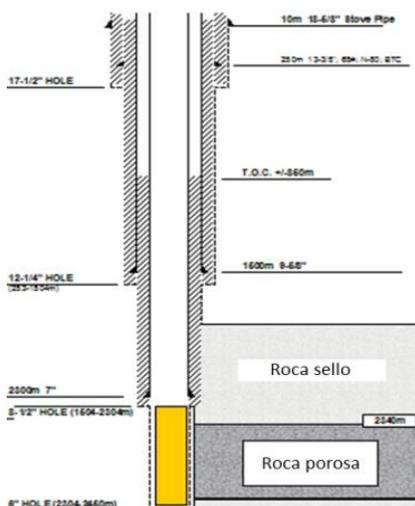


Ilustración 51: Pozo de perforación, en él se pueden observar las distintas secciones de las que se conforma.

Evaluación ambiental de los almacenamientos subterráneos de gas natural

Por tanto este impacto será común para los cuatro tipos de almacenamiento, dependerá de las características de la columna geológica y de las características que esta tenga.

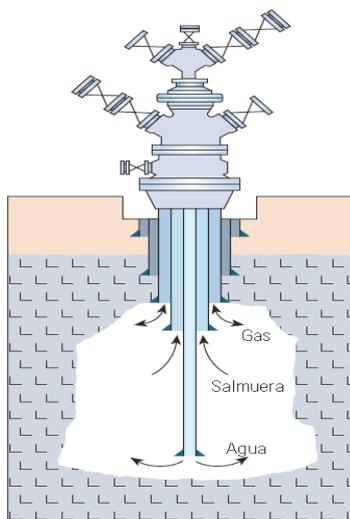
Las posibles medidas que se deben tener en cuenta para evitar impactos relacionados con los lodos de perforación son:

- Realizar un buen estudio geológico previo. Durante la fase de investigación se utilizan diferentes técnicas para estudiar y conocer la geología del lugar donde se van a realizar los almacenamientos. Es importante que estos estudios sean realizados con precisión para evitar imprevistos que terminen causando la contaminación de acuíferos someros.
- Realizar un control de calidad para garantizar el correcto revestimiento. El revestimiento utilizado ha de pasar todos los controles de calidad necesarios que aseguren que tras su construcción, no se pueda contaminar los acuíferos atravesados.
- Utilizar lodos en base agua. La utilización de lodos en base agua disminuye la afección de los acuíferos que son atravesados.
- Contar con personal experto en las labores de perforación. Puesto que esta acción es delicada y puede causar consecuencias importantes en caso de no realizarse correctamente, se tendrá que contar con personal experto que minimice la posibilidad de errores humanos debido a no conocer perfectamente la técnica.

8.4.3 CONTAMINACIÓN DE AGUA POR VERTIDO DE SALMUERA

Desde el punto de vista físico y químico, las diferencias entre el agua dulce y la salmuera sólo están en la distinta concentración de sales en cada una de ellas. A simple vista no se puede diferenciar ambas. Sin embargo, un vertido de salmuera puede producir un impacto tremendo en el medio, ya que el exceso de sal podría producir la muerte de los organismos donde se produzca el vertido.

Este impacto es exclusivo de los almacenamientos en cavidades salinas, debido a la necesidad



Lixiviación directa

Ilustración 52: Lixiviación de una cavidad salina. Fuente OilfieldReview 2002

Evaluación ambiental de los almacenamientos subterráneos de gas natural

de desarrollar las cavidades salinas mediante disolución. El volumen de salmuera que se puede producir es muy alto y equivale al consumo de agua requerido para formar estas cavidades (8 m³ de salmuera por cada m³ de cavidad salina construida). En el resto de almacenamientos no generan este tipo de vertido.

En el caso de que esta salmuera vaya a parar a un río o lago puede verse afectada la calidad de estos provocando la pérdida de biodiversidad y pudiendo causar un gran impacto. Por esta razón, esta salmuera se deberá gestionar correctamente. Dada su naturaleza puede ser vertida al mar o reutilizada en alguna industria.

Por la magnitud y la importancia de este impacto es necesario adoptar medidas que minimicen o eliminen el impacto:

- Definir un plan de retirada de salmuera previo al comienzo de las obras de construcción. Debido a las características de este vertido y los problemas que puede llevar asociado puede llegar a suponer un gran coste, esto puede llevar a la inviabilidad del proyecto. La salmuera se puede gestionar de diferentes formas, como puede ser proporcionándosela a algún tipo de industria cercana que la utilice durante su proceso productivo o eliminarla mediante emisarios submarinos en el mar, siempre que no se encuentre a mucha distancia, ya que este traslado la salmuera puede suponer unos costes muy elevados.
- Realizar un estudio de la afección al mar en caso de verterse. El mar aunque tenga concentración de sal esta no es la misma que la del vertido y puede afectar al área más cercana del emisor.
- Distribuir el desarrollo de las cavernas a lo largo del tiempo. Debido al volumen necesario para tener una cavidad y la gran cantidad de salmuera que genera es necesario alargar su desarrollo para evitar perjudicar en la medida de lo posible, afectar al medioambiente.

8.5 FASE DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

8.5.1 INCREMENTOS DE LOS NIVELES SONOROS POR LAS INSTALACIONES DE SUPERFICIE

Durante la operación existen unos determinados elementos que pueden emitir un nivel sonoro puede ser muy elevado superando los niveles legales. Las fuentes de ruido son algunas de las instalaciones de superficie. El aumento de los niveles de ruido puede afectar directamente al comportamiento de la fauna, produciendo alteraciones en el comportamiento. Así en los humanos pueden causar pérdida de capacidad auditiva llegando a afectar psicológicamente en caso de exposiciones prolongadas a altos niveles acústicos. Características de este tipo de instalaciones son los compresores.

Las fuentes de ruido características de este tipo de instalaciones son los compresores y los aerorrefrigeradores. Los compresores son usados en la inyección del gas natural en la temporada de inyección, durante unos 4-5 meses.

La magnitud de este impacto no será mayor al de cualquier instalación industrial y equivalente para los cuatro tipos de instalaciones.

Medidas:

- Se debe aislar el foco de ruido que proviene de los compresores. Para ello se instalan dentro de una nave evitando la dispersión del ruido. Ésta se ha de diseñar para que pueda circular el aire de modo que esté ventilado y en caso de que se produzca alguna fuga pueda circular el gas.
- Los aerorrefrigeradores no se pueden instalar
- Este tipo de instalaciones tienen la obligación de monitorizar el ruido que generan, midiendo niveles acústicos fuera de la planta. Éstas medidas se realizan a 3 metros de distancia fuera de la planta y no deben superar los niveles establecidos.

Evaluación ambiental de los almacenamientos subterráneos de gas natural

8.5.2 EMISIÓN DE GASES DE EFECTO INVERNADERO

Se produce una disminución de la calidad del aire debida a la emisión de gases de efecto invernadero durante el funcionamiento normal del almacén. Estos gases se producen en las instalaciones de superficie, en los siguientes sistemas:

- *Compresores*: Dependerá del tipo y modelo de compresor. Existen compresores eléctricos y con combustibles fósiles. Aquellos que utilizan combustibles fósiles son los que causan el mayor impacto siendo menor en aquellos que se utilice gas. La emisión solo dura los meses que estén inyectando gas al almacenamiento.
- *Generador auxiliar*: entrará en funcionamiento sólo falle el suministro eléctrico en la planta, sus emisiones dependerán por tanto de la calidad de la conexión eléctrica.
- *Emisiones del sistema de seguridad*: ya sea una antorcha de combustión, que quema el gas excedente o un sistema de venteo, que evacúa directamente el gas natural.
- *Otras fuentes*: el sistema de tratamiento del gas natural, que dispone de calderas y emitirá los gases propios de la combustión.

Durante el funcionamiento del almacén se pueden producir pérdidas de gases o pequeñas sobrepresiones, que hay que evacuar. Este gas puede tener dos destinos posibles: el sistema de seguridad (ya sea de antorcha o de venteo) o se puede diseñar la planta con un sistema de recirculación, que dirija este gas hacia las calderas de la instalación.



Ilustración 53: Cabina de un compresor, en la parte superior se puede observar el sistema de venteo.

Evaluación ambiental de los almacenamientos subterráneos de gas natural

Para determinar si medioambientalmente es mejor un sistema de antorcha o de venteo, es necesario realizar un estudio que determine cuanto de este gas de operación va a llegar al sistema de seguridad. Aunque el metano, emitido por el venteo, presenta 23 veces más poder de efecto invernadero que el CO₂ emitido por la antorcha, ésta última se debe mantener encendida 24 h al día, según la normativa A.P.I. por la que se rige esta industria.

Una planta que disponga de un sistema de recirculación de gases, sólo activaría su sistema de seguridad en caso de emergencia. Por esta razón sería más aconsejable un sistema de venteo, que no tiene emisiones durante el normal funcionamiento de la planta. Una instalación como Yela que lleva dos años en funcionamiento, sólo ha necesitado ventear en una ocasión, durante la puesta en marcha de la planta.

Los almacenamientos depletados, generalmente aprovechan las instalaciones ya existentes, por lo que no suelen disponer de sistema de recirculación de gases y poseen una antorcha de combustión como sistema de seguridad. Además los compresores suelen emitir gases de combustión. El resto de almacenamientos son de nueva construcción, lo que permite tomar decisiones de diseño con criterios medioambientales. Así, tienen la posibilidad de diseñar la nueva planta de una forma más eficiente, instalando circuitos de aprovechamiento del gas de proceso y compresores eléctricos.

Las medidas a adoptar son están centradas en:

- Instalación de compresores eléctricos, o en caso de utilizar combustible fósil, que éste sea gas natural. Puesto que al generar este tipo de gases se vierte a la atmósfera una cantidad considerable de estos gases es preferible siempre que técnicamente sea viable la utilización de compresores eléctricos o de gas.
- Instalar sistemas de recuperación de gases y aprovecharlo en las calderas de la instalación, en vez de mandarlos directamente a la antorcha o venteo. La recuperación de estos gases mejora la eficiencia de la planta y evita el vertido directo a los sistemas de seguridad.
- Realizar un estudio de diagrama de flujo para determinar la solución ambiental de seguridad que conlleva menores emisiones de gases de efecto invernadero (venteo o una antorcha).

8.5.3 CONTAMINACIÓN DE ACUÍFEROS POR GAS

Los acuíferos atravesados por los pozos de operación pueden llegar a contaminarse por el propio gas natural del almacén en el caso de que existiese algún problema en el revestimiento de los pozos, como podría ser un deterioro en la cementación que finalmente produzca este tipo de contaminación. La magnitud del impacto lo marcan las características del emplazamiento y no tanto el tipo de almacenamiento que se vaya a realizar (El impacto será similar en los 4 tipos de almacenamientos). Cabe destacar que este impacto no se verá disminuido en el caso de los almacenamientos de cavidades mineras por encontrarse a poca profundidad, ya que como se ha comentado, los acuíferos de mayor interés se encuentran en las capas más superficiales.

Las medidas a realizar para evitar y controlar las fugas de gas que dan lugar a la contaminación de acuíferos someros durante la operación del almacenamiento se centraran en lo siguiente:

- Realizar una correcta cementación. Es preciso llevar un estricto control de la calidad la hora de la construcción para evitar contaminar los acuíferos con gas.
- El espacio que queda entre la tubería de operación y la de revestimiento, se sella a distintas alturas. Se debe controlar que la presión no varía en estos compartimentos, ya que deben quedar cerrados estancamente. Por ello se instalan una serie de manómetros en superficie que controlen este factor. En caso de que varíe la presión será un indicador de que se ha producido una fuga, y se deberán poner medidas al respecto.
- Se deberá llevar a cabo un correcto mantenimiento de los pozos de operación, para evitar que se produzcan fugas de gas que puedan contaminar los acuíferos.

Evaluación ambiental de los almacenamientos subterráneos de gas natural

8.5.4 CONTRIBUCIÓN AL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA GASISTAY A LAS RESERVAS ESTRATÉGICAS DE ENERGÍA

La energía es un elemento esencial en el actual modelo económico. Su carácter estratégico se basa en las importantes limitaciones que producen en sectores industriales. El almacenamiento de gas es uno de los cinco ejes estratégicos propuestos por la UE centradas en la diversificación del origen de las importaciones energéticas dentro de las interconexiones de gas y electricidad; desarrollo de las energías renovables, como instrumento para mejorar el autoabastecimiento energético de la Unión; e impulso de las medidas de ahorro y eficiencia energéticas, líneas maestras que configuran la estrategia de seguridad energética de la UE. Por ello es fundamental mejorar el abastecimiento energético de la red. En este sentido, los almacenamientos subterráneos de gas configuran un elemento imprescindible, ya que aumentan la resiliencia de la red y reducen el coste energético. Debido a esto, se puede considerar que este impacto tiene un carácter positivo ya que es beneficioso para la población.

Los almacenamientos subterráneos permiten aumentar la cantidad de energía almacenada, pudiendo ajustar la oferta a la demanda de un país. Se logra así hacer frente tanto a las variaciones puntas como a variaciones estacionales. Es por ello que los almacenamientos subterráneos de gas suponen un elemento clave para poder utilizar el gas natural.

Con la creación de los almacenamientos se consigue aumentar las reservas para el suministro energético. Esto permite que, ante una interrupción de suministro se puedan mantener servicios básicos para el país durante un tiempo, disminuyendo el impacto catastrófico de la falta de energía. En nuestro país es necesario desarrollar almacenamientos subterráneos que nos permitan disponer de un volumen suficiente de reserva de gas natural de carácter estratégico, almacenado de forma permanente en nuestro país.

9 RIESGO AMBIENTAL

Actualmente la Evaluación de Riesgos Ambientales constituye una necesidad técnica necesaria para poder estimar los posibles daños ambientales que se puedan causar derivados de origen antropológico o natural. Permite a las industrias tener en cuenta estos riesgos y poder actuar sobre los factores que los provocan.

El Riesgo Ambiental se define como la probabilidad de causar un daño de forma directa o indirectamente al medio ambiente y a su biodiversidad, que rodea una actividad. Para calcular este riesgo se debe tener en cuenta la probabilidad de que ocurra un suceso indeseado multiplicado por las consecuencias producidas por ese suceso.

$$\text{Riesgo} = \text{Probabilidad} \times \text{Consecuencia}$$

En cualquier tipo de industria puede producirse que un error o fallo, ya sea durante el normal funcionamiento de la instalación o debido a una situación anómala o accidente, desencadene una secuencia accidental produciendo un desastre ambiental.

Se debe tener en cuenta que toda acción conlleva un riesgo, es decir, siempre existe la probabilidad de causar un daño, la probabilidad cero no existe, sólo se puede minimizar.

El Análisis de Riesgos Ambientales (ARA) es una herramienta de gestión que permite identificar los posibles sucesos iniciadores, la probabilidad de que sucedan esos sucesos y los posibles escenarios de consecuencias que pueden producirse. De esta forma se puede tener identificada la cadena de acciones y poder gestionar este riesgo. El ARA permite calcular de forma cualitativa o cuantitativa, los riesgos asociados a los peligros que suponen ciertos procesos o situaciones, de manera que se puedan tomar decisiones al respecto. A lo largo de este apartado se busca hacer un acercamiento al análisis del riesgo de los almacenamientos subterráneos, e indicar los pasos que se deberían seguir, ya que este trabajo requeriría el trabajo necesario para otro proyecto aparte.

En nuestro país el riesgo ambiental queda legislado bajo el marco de:

- *Real Decreto 1254/1999*, Medidas de control de los riesgos inherentes a los accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas.
- *Ley 26/2002 de prevención y control integrado de la contaminación*. Articulado por el Real Decreto 509/2007.
- *Ley 26/2007 de Responsabilidad Ambiental* que es articulado por el Real Decreto RD 2090/2008.

Para analizar el riesgo ambiental en nuestro país, existen diversas metodologías, mediante las cuales se podría analizar el riesgo ambiental. Caben destacar la Guía para la realización de

Evaluación ambiental de los almacenamientos subterráneos de gas natural

Análisis de riesgo Ambiental propuesta en el R.D. 1254/99. Dirección General de Protección Civil y Emergencias 2004 y la norma UNE 150008 realizada por AENOR 2008.

Un correcto análisis del riesgo ambiental requiere realizar una serie de consideraciones previas:

- Análisis preliminar y alcance del estudio.
- Condiciones del equipo responsable del estudio.
- Recopilación de información previa, historial de la instalación y estado de la misma. En caso de que hubiera un análisis previo, la revisión del mismo y actualización de los datos.

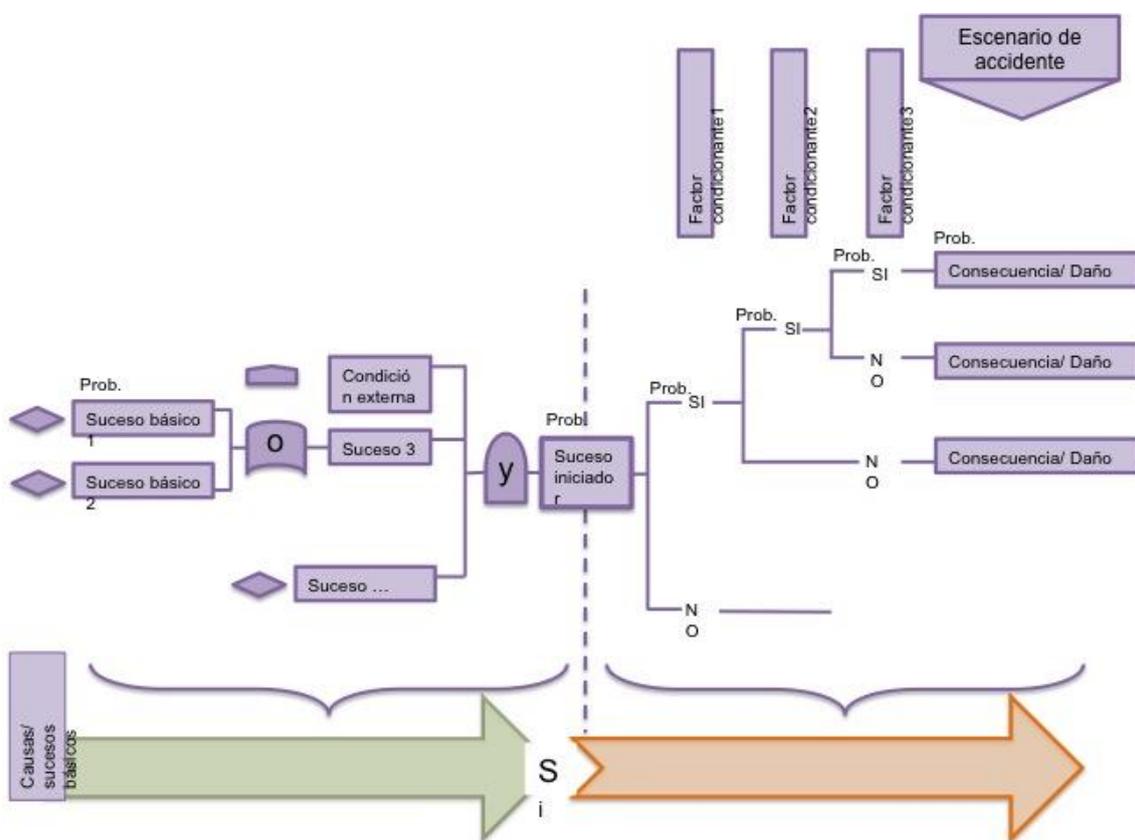


Ilustración 54: Esquema metodológico.

El esquema de un Análisis de riesgo ambiental se compone básicamente de:

- Metodología para el Análisis del riesgo.
- Identificación de causas y peligros.
- Identificación de sucesos iniciadores.
- Postulación de posibles escenarios causales.
- Asignación de probabilidad a cada escenario causal.
- Estimación de consecuencias asociadas a los escenarios causales.
- Evaluación del riesgo.
- Tratamiento del riesgo.

Evaluación ambiental de los almacenamientos subterráneos de gas natural

Finalmente es esencial la comunicación de estos riesgos.

Este tipo de análisis debe asegurar la trazabilidad de los datos de partida empleados para la elaboración del mismo. Así como garantizar los modelos, las herramientas y las técnicas utilizadas en el marco del método establecido por los estándares internacionales.

Las instalaciones de la industria de hidrocarburos, conllevan una serie de riesgos asociados. Algunos son claramente derivados de acciones del proyecto o bien de una determinada actividad; como puede ser el riesgo de contaminación del suelo por la rotura de un tanque. Éste es un riesgo muy acotado que se puede mitigar con una medida sencilla, medida preventiva, instalando un cubeto de retención. Sin embargo, existen otro tipo de riesgos que no se pueden gestionar de una forma tan sencilla. Este tipo de riesgos son los que se deben gestionar mediante el análisis de riesgos ambientales. Los principales riesgos de este tipo, asociados a los almacenamientos de gas en el subsuelo, serían:

- **Riesgo de producción de microsismos o terremotos.**
- **Riesgo de accidente, incendios y explosión.**

A continuación se procederá a analizar los procesos iniciadores asociados a los riesgos más significativos de estas dos instalaciones, así como proponer medidas tanto preventivas como correctivas que minimicen la probabilidad de que se produzcan.

Evaluación ambiental de los almacenamientos subterráneos de gas natural

9.1 RIESGO DE SISMICIDAD INDUCIDA

Durante la operación del almacenamiento se introducen grandes volúmenes de gas en el subsuelo. En el caso de los almacenamientos en roca porosa, el gas irá ocupando un lugar en los poros desplazando el agua que había previamente, lo que creará una sobrepresión. La roca, se va adaptando a esta nueva situación buscando el equilibrio. En caso de encontrarse alguna falla cercana a la zona de afección, esta sobrepresión puede llegar a provocar movimientos sísmicos.



Ilustración 55: Mapa de fallas del cuaternario activas de España.

Fuente: IGME.

Aunque este riesgo se debe tener muy en cuenta, ya que puede llegar provocar una afección a la población que dependerá de la cercanía de las poblaciones y de la magnitud de los terremotos producidos. Sin embargo la probabilidad de que ocurra es muy baja, ya que durante las primeras fases del proyecto se descartarían las localizaciones que puedan afectar a fallas activas. Existen múltiples almacenamientos sobre los que viven poblaciones que no se ven afectadas por el mismo, como por ejemplo los almacenamientos que se encuentran en el subsuelo de París o sobre el que se encuentra la ciudad de Berlín.

En el caso de los almacenamientos en cavidades salinas no se producirá este riesgo, ya que la presión se producirá sobre las paredes de la cavidad y será absorbida por la sal.

Las medidas a tomar para disminuir la probabilidad de que se produzca este impacto se basan en:

- Localización idónea del almacén. Dado que un almacén subterráneo somete al subsuelo a sobrepresiones se necesita hacer un estudio previo de la actividad

Evaluación ambiental de los almacenamientos subterráneos de gas natural

sísmica de la zona que identifique las posibles fallas que se puedan ver afectadas por la actividad.

- Monitoreo de la actividad sísmica de la zona observando cualquier anomalía. Al ser una actividad que puede provocar actividad sísmica, se debe controlar los movimientos sísmicos para actuar en caso de que se detecten esos.
- Adecuación de las presiones de inyección y extracción en función de la posible actividad sísmica que se pudiera llegar a provocar. Hacer un estudio previo del terreno para prevenir la producción de movimientos sísmicos.

9.2 RIESGO DE INCENDIO Y EXPLOSIÓN

El riesgo de incendio al igual que cualquier otro riesgo viene determinado por los daños que puede ocasionar y la probabilidad de materializarse ese daño. Necesitando un desencadenante para que se produzca el daño.

Nivel de riesgo de incendio = Probabilidad de inicio x Consecuencias

En la fase de operación, el riesgo deriva del manejo del gas ya que es altamente inflamable y, en caso de accidente podría producir una gran explosión y desencadenar un incendio de magnitudes catastróficas.



Ilustración 56: Incendio en una planta de gas.

Este riesgo es menor en instalaciones nuevas, ya que los elementos con los que se opera la planta serán también más nuevos, por esta razón los almacenamientos depletados son los que podrían tener mayor riesgo de sufrir este tipo de accidentes.

Evaluación ambiental de los almacenamientos subterráneos de gas natural

Las medidas que se llevan a cabo consisten en reducir la probabilidad de que se produzca un incendio y medidas de actuación en caso de que se haya producido para disminuir las consecuencias de este.

- Llevar a cabo unas estrictas medidas de seguridad, principalmente cuando se esté trabajando en atmósfera inflamable. No se deben llevar en estos lugares aparatos que puedan provocar una explosión con su uso (móviles, cámaras, walkies no diseñados para atmósfera inflamable)
- Llevar un control de calidad de todos los sistemas y equipos sensibles de fallar. Principalmente de las válvulas.
- Instalar sistemas contra incendios, que permitan a los equipos de bomberos llegar a las instalaciones sin que el fuego se haya propagado. Se debe controlar el incendio antes de que llegue a provocar daños catastróficos en la zona donde se localice el almacenamiento.
- Instalar un sistema de control que cierre automáticamente el pozo de almacenamiento en caso de incendio. De esta forma si se produce un incendio, no se seguiría alimentando con el gas almacenado en el subsuelo.

10 COMPARACIÓN DE IMPACTOS POR TIPO DE ALMACENAMIENTO.

Como conclusión se ha realizado una tabla comparativa en el que se comparará la incidencia de estos impactos característicos producidos por los almacenamientos subterráneos, en función del tipo de almacenamiento:

Tabla 9: Comparativa de impactos en función del tipo de almacenamiento.

Impactos Ambientales	Formaciones Porosas		Cavidades	
	Depletado	Acuífero	Salina	Minera
Fase de investigación				
Incremento del nivel sonoro debido a las técnicas de generación de ondas en los estudios sísmicos.	Muy Bajo	Bajo	Bajo	Muy Bajo
Contaminación por vertidos de agua salada procedentes del acuífero profundo durante las pruebas dinámicas.	Bajo	Bajo	-	-
Afección sobre el bienestar de la población.	No tiene porqué existir diferencias entre los distintos almacenes.			
Fase de Construcción				
Consumo de agua.	Muy Bajo	Muy Bajo	Muy Alto	Muy Bajo
Contaminación del entorno por vertidos salinos.	-	-	Muy Alto	-
Contaminación de acuíferos por los lodos de perforación.	Las diferencias las marca el emplazamiento y no el tipo de almacén.			
Fase de Operación.				
Emisión de gases de efecto invernadero.	Medio	Bajo	Bajo	Bajo
Contaminación de acuíferos por gas.	No tiene porqué existir diferencias entre los distintos almacenes.			
Riesgo de accidente, incendios y explosión.	No tiene porqué existir diferencias entre los distintos almacenes.			
Riesgo de sismicidad inducida.	Muy Bajo	Muy Bajo	-	Muy Bajo
Aumento de la reserva estratégica de gas.	Alto	Alto	Bajo	Bajo
Aumento de la flexibilidad del sistema gasístico.	Bajo	Bajo	Alto	Alto

Comparando los distintos almacenamientos, podemos observar que:

- En la fase de estudios previos, los almacenamientos en acuífero y en cavidades salinas requieren una fase de investigación más desarrollada, ya que en los otros dos almacenamientos se conoce de antemano la ubicación de la estructura. Las diferencias en el impacto vendrán dadas por la necesidad de realizar unas campañas sísmicas más detalladas.
- Como ya se ha dicho, las pruebas dinámicas permiten conocer el movimiento que permite la roca de los almacenamientos en medio poroso. Durante las mismas se puede extraer agua del acuífero lo que podría ocasionar un impacto sobre la calidad de las aguas. Puesto que las pruebas dinámicas son exclusivas de los almacenamientos en medio porosos, el impacto que se produce debido a ellas es exclusivo de los almacenamientos en yacimientos depletados y en acuíferos profundos.
- Durante la construcción, los almacenamientos en cavidades salinas requieren la disolución de las cavidades, lo que lleva asociado una serie de impactos

Evaluación ambiental de los almacenamientos subterráneos de gas natural

característicos: elevado consumo de agua y producción de vertidos contaminados (salmuera). Estos impactos no tienen lugar en los otros tipos de almacenamientos.

- Las diferencias en los impactos generados en la fase de operación, vienen dados por el tipo de tecnología. Como ya se ha comentado los almacenes depletados suelen reaprovechar las instalaciones existentes, que al ser antiguas se construyeron con unos estándares ambientales más laxos, mientras que el resto de almacenamientos deben diseñar la nueva planta siguiendo criterios medioambientales que les hagan generar menores impactos.

11 BIBLIOGRAFÍA

Documentación aportada por Enagas.

Alonso Caballero, Luis. "Criterios de selección de una estructura favorable para un almacenamiento de gas natural: Aplicación a escala de cuenca en la Península Ibérica." (2013).

Boyer, Charles, et al. "Producing gas from its source." *Oilfield Review* 18.3 (2006): 36-49.

DePalma, Thomas M. "Gas log fireplace system." U.S. Patent No. 5,575,274. 19 Nov. 1996.

Evans, D. J. *An appraisal of Underground Gas Storage technologies and incidents, for the development of risk assessment methodology. Report by the British Geological Survey to the Health & Safety Executive (HSE)*. HSE Research Report Series, Number RR605. World Wide Web Address: <http://www.hse.gov.uk/research/rrpdf/rr605.pdf>, 2008.

Martínez, R., et al. "Análogos industriales del almacenamiento de CO₂." *Informes Técnicos CIEMAT* 1145 (2008): 71.

CoalbedMethaneOutreachProgramAtmosphericPollutionPreventionDivision U.S. Environmental Protection Agency, EPA TechnicalandEconomicAssessment of CoalbedMethane Storage in Abandoned Mine Workings (October 1998)

Ministerio de industria, energía y turismo, "La energía en España" (2011)

Enagas: http://www.enagas.es/cs/Satellite?pagename=ENAGAS/Page/ENAG_home

IGME: <http://www.igme.es/infoigme/aplicaciones/qafi/>

EuropeanEnergyProgrammeforRecovery: http://ec.europa.eu/energy/eepr/index_en.htm

Sedigas: <http://www.sedigas.es/>

Gas Natural fenosa: <http://www.gasnaturalfenosa.es/es/1285341940734/conocenos.html>

Comisión Nacional de Energía:

http://www.cne.es/cne/contenido.jsp?id_nodo=50&&keyword=&auditoria=F

Evaluación ambiental de los almacenamientos subterráneos de gas natural

ANEXO I

				MEDIO FÍSICO							MEDIO BIÓTICO						
				CLIMA	ATMÓSFERA		GEOLOGÍA – EDAFOLOGÍA			HIDROLOGÍA	HIDROGEOLOGÍA	PROCESOS	VEGETACIÓN	FAUNA			
				Clima	Calidad del aire	Calidad acústica	Geomorfología	Calidad del suelo y erosión	Geología	Hidrología superficial	Hidrología subterránea	Estabilidad de taludes	Vegetación natural	Fauna	Hábitats faunísticos	Pautas de comportamiento	
FASE DE INVESTIGACIÓN	Sísmica	Ocupación de terrenos					x	x							x	x	
		Generación de ondas			x												
		Acondicionamiento del terreno		x		x	x					x	x	x	x		
		Construcción del pozo de investigación				x	x	x	x	x							
		Antepozo y balsa															
		Uso de maquinaria pesada		x	x							x				x	
FASE DE DESARROLLO	Construcción de las instalaciones	Construcción de zanjas y nuevos viales					x			x	x		x	x	x	x	
		Construcción de nuevas instalaciones en superficie															
		Construcción de pozos		x	x					x	x						
		Lixiviación de cavidades								x	x						
		Sellado de mina		x													
		Construcción de línea eléctrica y Gaseoductos				x						x	x	x	x		
		Almacenamiento materiales y residuos		x			x									x	
FASE DE OPERACIÓN Y CONTROL	Funcionamiento del almacén	Extracción previa de gas y agua			x												
		Extracción e inyección (compresores)			x				x								
		Acondicionamiento del gas															
		Operaciones de control															
		Operaciones de control ANTORCHA		x													
FASE DE DESMANTELAMIENTO		Desmontaje		x	x											x	
		Restitución del entorno		x				x					x		x		
ACCIONES SOCIO-ECONÓMICAS		Demanda de mano de obra															
		Demanda de servicios sociales															
		Compra del terreno															
ACCIONES DE EMERGENCIA		Rotura de conducciones		x			x			x	x			x	x	x	
		Disparo de válvulas de seguridad		x													
		Derrame de sustancias peligrosas		x				x		x	x		x	x	x	x	
		Derrame de salmuera						x		x	x		x	x	x	x	
		Explosiones e incendios		x	x			x					x	x	x	x	

Negro: Acciones comunes de los distintos almacenamientos.
 Rojo: Acciones específicas de algunas instalaciones.

Evaluación ambiental de los almacenamientos subterráneos de gas natural

ANEXO II

			MEDIO PERCEPTUAL	USOS DEL TERRITORIO		PATRIMONIO CULTURAL	POBLACIÓN		ESTRUCTURA ECONÓMICA	INFRAESTRUCTURAS		
			PAISAJE	PRODUCTIVO	CONSERVACIÓN DE LA NATURALEZA	RECURSOS CULTURALES	ESTRUCTURA DE OCUPACIÓN	BIENESTAR DE POBLACIÓN	ACTIVIDADES Y RELACIONES	INFRAESTRUCTURA VIARIA	INFRAESTRUCTURA NO VIARIA	
			Intrusión visual	Agrícola o ganadero.	Afección espacios naturales	Arqueología	Empleo	Bienestar de la población	Actividades económicas	Vial rural	Infraestructura energética	
FASE DE INVESTIGACIÓN	Sismica	Ocupación de terrenos		x	x							
		Generación de ondas										
		Acondicionamiento del terreno	x	x	x	x		x				
		Construcción del pozo de investigación	x		x	x		x				
		Antepozo y balsa	x		x	x		x				
		Uso de maquinaria pesada					x			x		
FASE DE DESARROLLO	Construcción de las instalaciones	Construcción de zanjas y nuevos viales	x		x	x		x			x	
		Construcción de nuevas instalaciones en superficie	x		x			x				
		Construcción de pozos				x						
		Lixiviación de cavidades			x							
		Sellado de mina			x							
		Construcción de línea eléctrica y Gaseoductos	x	x	x	x					x	
		Almacenamiento materiales y residuos			x			x				
FASE DE OPERACIÓN Y CONTROL	Funcionamiento del almacén	Extracción previa de gas y agua										
		Extracción e inyección (compresores)			x							
		Acondicionamiento del gas			x							
		Operaciones de control			x			x				x
		Operaciones de control ANTORCHA	x		x			x				
FASE DE DESMANTELAMIENTO		Desmontaje	x		x			x			x	
		Restitución del entorno	x	x	x			x				
ACCIONES SOCIO-ECONÓMICAS		Demanda de mano de obra					x	x	x			
		Demanda de servicios sociales					x	x	x			
		Compra del terreno							x			
ACCIONES DE EMERGENCIA		Rotura de conducciones			x			x				
		Disparo de válvulas de seguridad			x							
		Derrame de sustancias peligrosas		x	x			x				
		Derrame de salmuera		x	x							
		Explosiones e incendios	x	x	x			x				

Negro: Acciones comunes de los distintos almacenamientos.
 Rojo: Acciones específicas de algunas instalaciones.

