

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA

ESCUELA DE DOCTORADO DE LA UNIVERSIDAD DE CANTABRIA

PROGRAMA DE DOCTORADO DE INGENIERÍA QUÍMICA, DE LA
ENERGÍA Y DE PROCESOS



TESIS DOCTORAL

**Evaluación de la sostenibilidad de la fracturación
hidráulica basada en la técnica de decisión
multicriterio Fuzzy-ANP**

PHD THESIS

**Sustainability assessment of hydraulic fracturing
based on the multicriteria Fuzzy-ANP decision
technique**

Realizada por: José Antonio Fernández Ferreras

Dirigida por: Prof. Dr. Ángel Irabien Gulías

Santander 2019

La Tesis Doctoral se presenta siguiendo la normativa existente en la Universidad de Cantabria y en el Departamento de Ingenierías Química y Biomolecular referente a la elaboración de Tesis Doctorales dentro del programa de DOCTORADO EN INGENIERÍA QUÍMICA, DE LA ENERGÍA Y DE PROCESOS, en base al Real Decreto 99/2011 de 28 de enero por el que se regulan las enseñanzas oficiales de doctorado.

Esta tesis se ha realizado en el marco de los doctorados industriales promovidos por la Universidad de Cantabria, de conformidad con el Título IX del Real Decreto 99/2011.

Agradecimientos

Han transcurrido ya cinco años desde que inicié la aventura de esta tesis doctoral. He de decir que no ha sido fácil compaginar mi trabajo diario y obligaciones familiares con la investigación sobre un tema tan fascinante y actual como es la fracturación hidráulica. Sin embargo, espero que el resultado aporte un granito de arena al conocimiento de esta técnica y sus implicaciones en nuestro país.

En primer lugar, quisiera dar las gracias a mi director de tesis, el Prof. Dr. Ángel Irabien por confiar en mí para el desarrollo de este trabajo de investigación, ya que sin su apoyo no hubiera podido lograr el desarrollo de esta tesis. Su clara visión de la sostenibilidad, solo posible tras muchos años de dedicación a la docencia e investigación sobre esta materia, me ha aportado los conocimientos necesarios y las ideas clave sobre la sostenibilidad de los procesos industriales.

Gracias a mi tutora en la Administración, Berta González por haberme ayudado en la consecución de este trabajo, mostrando su apoyo en todo momento.

También me gustaría dar las gracias a todo equipo docente e investigador del Departamento de Ingenierías Química y Biomolecular por sus continuas palabras de ánimo y al equipo administrativo de este departamento.

Agradecer también especialmente a todos los profesores participantes en la encuesta a académicos incorporada en la metodología de evaluación de la sostenibilidad aplicada en este trabajo.

Gracias a mi esposa e hija, por su paciencia y comprensión al robarles muchos momentos de ocio y la dedicación que se merecían, en el afán por progresar en mi formación universitaria durante años.

Mi recuerdo y gratitud también para los Seres queridos que ya no están a mi lado...

Índice



Nota sobre el uso de terminología anglosajona.

A lo largo de la presente tesis se muestra información en forma de tablas y gráficos extraída de la numerosa bibliografía consultada, en su mayor parte de habla inglesa. Con el fin de reflejar fielmente la información, se ha mantenido el idioma inglés en su representación a través de gráficas o tablas, salvo en el caso de que dichos datos hayan sido tratados por el autor. Este criterio se ha mantenido para la utilización de signos de puntuación de cifras decimales, según se explica en la página x.

En relación con el uso del término *gas de pizarra*, en un sentido amplio, para referirse al *shale gas*, en la página xi se razona la selección de este término.

INDICE

RESUMEN / ABSTRACT	1
CAPÍTULO 1. PLANTEAMIENTO	11
1.1. La técnica de la fracturación hidráulica horizontal	13
1.2. El gas natural convencional y el gas de pizarra en el contexto energético internacional, europeo y español	15
1.3. Perspectiva global de la fracturación hidráulica	20
1.4. Perspectiva europea de la fracturación hidráulica	25
1.5. Perspectiva española y autonómica de la fracturación hidráulica	28
1.6. Objetivos y estructura de la tesis	34
1.7. Referencias del Capítulo 1	37
CAPÍTULO 2. DESARROLLO	39
2.1. Evaluación de la sostenibilidad en la energía: evaluación de planes y programas, características	41
2.2. Evaluación de la sostenibilidad: metodologías cualitativas	44
2.3. Metodologías semicuantitativas: el Proceso Analítico en Red (ANP) y el análisis en red Fuzzy	47
2.3.1. Inventario de la información ambiental	69
2.3.1.1. Cargas ambientales (MA1): contaminación de las aguas y del aire, calentamiento global, residuos y degradación del suelo	69

2.3.1.2. Uso de recursos (MA2): agua, energía y materiales	79
2.3.1.3. Otros impactos sobre el ambiente (MA3): accidentes, sismicidad, impacto visual y ruido	81
2.3.2. Inventario de la información económica	88
2.3.2.1. Rentabilidad (EC1) y precio del gas (EC2)	88
2.3.2.2. Impacto en el PIB (EC3) y afección a otros sectores (EC4)	92
2.3.3. Inventario de la información socio-política	95
2.3.3.1. Creación de empleo (SP1) y efectos sobre la salud (SP2)	95
2.3.3.2. Percepción social (SP3), falta de regulación (SP4) y pérdida o ganancia patrimonial (SP5)	101
2.3.4. Inventario de la información tecnológica	107
2.3.4.1. Experiencia, dependencia tecnológica, infraestructuras (T1)	107
2.3.4.2. Condiciones geológicas-reservas (T2)	109
2.4. Evaluación de la sostenibilidad atendiendo a los criterios de valoración del autor	110
2.4.1. Comparación de criterios intra-clúster con lógica difusa	111
2.4.2. Comparación de criterios inter-clúster con lógica difusa	122
2.4.3. Análisis de sensibilidad	138
2.4.4. Eliminación de los factores sociopolíticos	140
2.5. Evaluación atendiendo a los criterios de valoración de académicos	141
2.6. Referencias del Capítulo 2	145
CAPÍTULO 3. CONCLUSIONES / CHAPTER 3. CONCLUSIONS	155
3.1. Conclusiones	157
3.2. Recomendaciones	162
3.3. Conclusions	164
3.4. Suggestions	168
3.5. Referencias del Capítulo 3 / Chapter 3 References	169

ANEXOS	171
Anexo I (AI). Cálculos de evaluación de preferencias	AI-3
Método de programación de preferencias – programación mediante Matlab-Mathworks	AI-3
Matrices de comparación por pares. Cálculo de las prioridades basado en el criterio de un técnico	AI-9
Evaluación eliminando los factores sociopolíticos	AI-25
Análisis de sensibilidad	AI-30
Anexo II (AII). Evaluación mediante encuestas	AII-1
Encuesta a académicos	AII-1
Resultados de la encuesta	AII-9
Programas en Matlab para la linealización	AII-13
Matrices de la encuesta linealizadas	AII-14
Cálculo de prioridades basado en la opinión de académicos	AII-15
Anexo III (AIII). Estimación de la viabilidad económica de un pozo de gas de pizarra en España	AIII-1

NOMENCLATURA, UNIDADES Y EQUIVALENCIAS

SISTEMA INGLÉS	SISTEMA MÉTRICO
1 Square Mile (Mi ²)	2.59 km ²
1,000 cubic feet (cf)	28.3 m ³
1 Bcf=10 ⁹ cf	
1 Billion Cubic Meters (BCM) = 10 ⁹ m ³ = 35,315 Billion cubic feet (Bcf)	
1 Trillion Cubic Feet (TCF) = 10 ¹² pies cúbicos (cf) = 28,3 BCM (en condiciones estandar)	
1 MM=10 ⁶	
1 MM Btu=1,000 cf of gas = 28.3 m ³ of gas	
1 m ³ of gas = 11.63 kwh	
1 MMt of Liquefied Natural Gas (LNG) = 1.37 Bcm of natural gas	

Criterio de utilización del punto "." y coma ","

A lo largo del trabajo se utiliza indistintamente el punto y la coma para la definición de los decimales. Esto se debe a la transcripción de tablas y figuras procedentes de artículos de origen anglo-sajón, y los resultados obtenidos en la ejecución de programas como Matlab y Super-Decisions cuyos decimales se expresan con comas. Por tato el criterio utilizado a lo largo del trabajo es el siguiente:

- Utilización del punto como separación de decimales en: tablas y figuras procedentes de artículos o páginas web anglo-sajonas, y resultados de la aplicación de los programas Matlab y Super-Decisions.
- Utilización de la coma como separación de decimales: tablas y figuras de artículos en castellano, tablas, gráficos, y cálculos en Excel elaborados por el autor.

Utilización de los términos shale gas, gas de lutita, gas de pizarra y gas de esquisto.

La voz inglesa *shale*, que hace referencia al tipo de roca de la que se extrae este tipo de gas, puede equivaler en español a *lutita*, *pizarra* o *esquisto*, de acuerdo con el *Diccionario español de la energía*, de Martín Municio y Colino Martínez¹.

Para determinar cuál es la traducción más adecuada del término shale conviene estudiar las definiciones que establece la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales²:

- Lutita. (lutite) Geol. Roca sedimentaria constituida por granos muy finos, de menos de 0.062 mm. Sinón.: pelita.
- Pizarra. (slate) Geol. Roca metamórfica de grano ultrafino o muy fino (no visible a simple vista) que presenta una foliación bien desarrollada, formada a partir de lutitas bajo condiciones de grado metamórfico muy bajo.
- Pizarra metamórfica. (slate) Geol. Sinón. de pizarra.
- Esquisto. (schist) Geol. Roca metamórfica que presenta una estructura planar definida por orientación preferente de granos o agregados de granos minerales inequidimensionales, generalmente planares (p. ej. filosilicatos). Esta estructura confiere a la roca la capacidad de ser exfoliable.

Se pueden clasificar las rocas anteriormente citadas en orden creciente de grado de metamorfismo (de izquierda a derecha):



En sentido estricto la pizarra es una roca metamórfica, no obstante, en España habitualmente se utiliza este término para definir así mismo rocas sedimentarias de origen arcilloso, o con un bajo grado de metamorfismo, que se pueden exfoliar.

Dado que el esquisto es una roca con alto grado de metamorfismo no es posible encontrar gas en ella, por lo que el término *gas de esquisto* no es adecuado. La traducción correcta de *shale*

¹ Martín Municio, A., Colino Martínez, A., 2004. Diccionario español de la energía. Ediciones Doce Calles. ISBN 978-84-9744-025-7.

² https://www.ugr.es/~agcasco/personal/rac_geologia/rac.htm

gas, de acuerdo con la aptitud de la roca para contener gas, es *gas de lutita*, o *gas de pizarra* (considerando ésta en su sentido de roca sedimentaria o con grado muy bajo de metamorfismo).

Dada la mayor difusión en nuestro País del término *gas de pizarra*, se ha utilizado éste en todo el trabajo, en un sentido amplio como equivalente a *shale gas*, desistiendo del uso de los términos *gas de lutita* o *gas de esquisto*, el primero por ser menos conocido y el segundo de ellos por ser inadecuado al tipo de roca de estudio.

Resumen

Abstract

Resumen

La fracturación hidráulica es una técnica de explotación de hidrocarburos cuya implantación fuera de EE.UU. está siendo hasta la fecha muy limitada por las dificultades en la toma de decisión que sea capaz de conciliar criterios ambientales y económicos en un marco socio-político específico.

En el capítulo 1 se ofrece una visión general de la técnica de fracturación hidráulica desde las perspectivas global, europea y estatal/autonómica.

La Ley 21/2013 de 9 diciembre de Evaluación Ambiental establece la obligatoriedad de someter a Evaluación Ambiental Estratégica, los planes de los que se deriven proyectos que pudieran tener una incidencia sobre el medio ambiente.

La recomendación de la Comisión Europea, de 22 de enero de 2014 sobre la fracturación hidráulica establece que los proyectos de fracturación hidráulica deben ser evaluados a través del instrumento de Evaluación Ambiental de Planes y Programas.

En el contexto español, existe una contraposición de intereses a la hora de valorar la implantación de la fracturación hidráulica, con el rechazo de los grupos ecologistas y una parte de la sociedad debido a la afección al medio ambiente, y la defensa de sectores económicos por la previsión de creación de empleo y fomento de la economía. Este trabajo avanza una metodología de evaluación de la sostenibilidad de la técnica de fracturación hidráulica para graduar los aspectos ambientales, económicos, socio-políticos y tecnológicos, relevantes para la toma de decisión.

El concepto de desarrollo sostenible adoptado por primera vez en el informe Brundtland, 1987 elaborado para la ONU¹ abarca más facetas que la ambiental; así comprende los aspectos económicos y socio-políticos de una actividad. Algunos autores incorporan así mismo la tecnología como un factor relevante de la sostenibilidad al modular los otros tres aspectos.

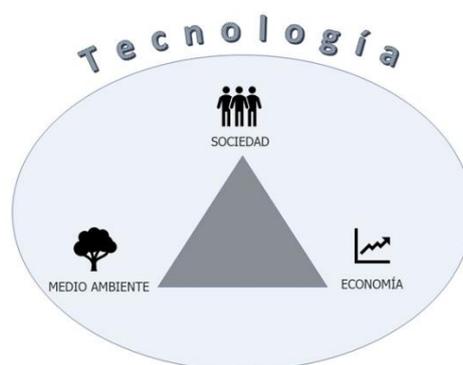


Figura 1. Representación del concepto de desarrollo sostenible.

¹ Brundtland, G.H., 1987. Our common future. World Commission on Environment and Development. Oxford University Press.

La dificultad de la evaluación de la sostenibilidad radica en la necesidad de trabajar con factores que operan en contraposición como pueden ser los aspectos ambientales y los económicos y la subjetividad intrínseca a la valoración de algunos aspectos socio-políticos como la percepción social.

La metodología de evaluación de la sostenibilidad seguida en este trabajo se basa en la combinación del método de decisión multicriterio denominado "Proceso Analítico en Red" (Analytic Network Process, ANP) diseñado por el profesor Thomas L. Saaty en los años 90 como una generalización del proceso analítico jerárquico (Analytic Hierarchy Process, 1980), y en la lógica difusa Fuzzy. La teoría de los subconjuntos difusos o borrosos (Fuzzy) fue desarrollada por Lofti A. Zadeh en 1965 con el fin de representar matemáticamente la imprecisión intrínseca de ciertas categorías de objetos.

De acuerdo con el marco de evaluación de la sostenibilidad en el sector de la energía, se valoran las metodologías cualitativas y las metodologías semicuantitativas, generalmente aplicadas, concluyendo que el proceso analítico en red (ANP) combinado con los números difusos (Fuzzy) es un procedimiento que puede ayudar sistemáticamente a la toma de decisión en el problema complejo planteado por la evaluación de la sostenibilidad de la fracturación hidráulica.

El Proceso Analítico en Red (ANP) está diseñado para la toma de decisiones complejas en las que intervienen múltiples factores interrelacionados entre sí, como es el caso de la evaluación de la sostenibilidad, con factores de carácter medio ambiental, socio-político, económico y tecnológico. Está basado en la construcción de juicios por pares, que comparan la importancia de los diferentes factores entre sí. Dada la subjetividad e imprecisión intrínsecas de los juicios humanos, es especialmente aplicable la teoría de los subconjuntos difusos, de forma que, en cada juicio, el valor elegido por el decisor no es un número concreto en una escala determinada, sino un intervalo de valores.

La primera etapa en la aplicación de la metodología Fuzzy-ANP ha sido la elaboración del inventario de los factores de la sostenibilidad relevantes en el caso español (14) agrupados en los clústeres ambiental, económico, socio-político y tecnológico.

Para la determinación del ranking de prioridad de criterios, es decir, qué criterios tienen mayor influencia sobre los demás y por tanto, mayor peso en la sostenibilidad de la fracturación hidráulica, una vez definidos los 14 criterios agrupados en los cuatro clústeres (ambiental, económico, socio-político y tecnológico), y para fundamentar la realización de los juicios por pares característicos de la técnica ANP, se ha desarrollado una intensa búsqueda bibliográfica sobre la fracturación hidráulica, fundamentalmente derivada de la amplia experiencia americana. El inventario de datos es el resultado de dicha búsqueda en relación con la definición de los diferentes factores de la sostenibilidad, particularizados, en la medida de lo posible, al caso español.

Aplicando la valoración de los efectos de la fracturación hidráulica, se evalúa mediante el método ANP, qué criterio es el más importante en términos de influencia. Primero se realiza la

evaluación dentro de cada clúster sin tener en cuenta factores pertenecientes a otros clústeres, resultando que dentro del clúster ambiental influye más sobre el resto de factores el uso de los recursos (MA2), mientras que es el precio del gas (EC2) el factor predominante en el clúster económico y la percepción social (SP3) el factor determinante en el clúster socio-político. Dentro de los aspectos tecnológicos, se ha considerado que no existe interrelación entre los dos factores que lo conforman: T1 (experiencia, dependencia tecnológica e infraestructuras), y T2 (condiciones geológicas-reservas).

Finalmente, se consideran las interrelaciones entre los diferentes factores dentro del propio clúster y con otros clústeres diferentes, determinando que existe una gran dependencia entre ellos, que se plasma en las diferentes matrices de comparación por pares que contempla la metodología ANP. Con la obtención de la supermatriz límite en la que convergen todas las columnas, se obtiene el ranking de importancia de los diferentes factores en términos de influencia sobre los demás, resultando la percepción social (SP3) como el aspecto más influyente (16,92%). Los aspectos sociales, con un 37,85% son los más relevantes, mientras que los económicos ocupan la última posición, debido a la poca influencia que ejercen sobre factores pertenecientes a otros clústeres.

Se realiza un análisis de la sensibilidad del modelo a cambios en los juicios emitidos, determinando cuánto tiene que variar la importancia dada a cada factor al realizar los juicios para que el factor "percepción social" (SP3) pase a la segunda posición. Los aspectos más sensibles son, por este orden, la falta de regulación (SP4), percepción social (SP3), experiencia, dependencia tecnológica e infraestructuras (T1) y cargas ambientales (MA1).

Superada la barrera de la percepción social, ejercicio que se realiza en el apartado 2.4.4 quitando los factores socio-políticos del modelo, se determina el nuevo ranking de importancia a través de la obtención de una nueva supermatriz límite. Se puede ver en este caso, que la dependencia y experiencia tecnológica (T1) es decisiva debido a las fuertes influencias que ejerce sobre el resto de los aspectos, especialmente económicos y ambientales, con un 31,47% del ranking total, y en segundo lugar se sitúa el uso de recursos (MA2) con un 22,36% de importancia relativa.

Para valorar la subjetividad de la valoración efectuada se repite el análisis incorporando la valoración de académicos del área de la Ingeniería Química, a través de la realización de encuestas, obteniendo unos resultados similares. Destaca el aumento en la importancia del precio del gas (EC2) y la falta de regulación (EC4), siendo el resto de los valores muy similares y ocupando las primeras posiciones la percepción social (SP3), seguida de la experiencia, dependencia tecnológica e infraestructuras (T1) y las cargas ambientales (MA1) en tercera posición. Esto demuestra que la jerarquía establecida es un resultado robusto de acuerdo con la valoración técnica de la información analizada.

Se ha completado el análisis con un estudio económico de la rentabilidad de un pozo de gas de pizarra en España determinando las variables económicas que harían rentable económicamente su explotación.

Abstract

Hydraulic fracturing is a hydrocarbon exploitation technique whose implantation outside the US has so far been very limited by the difficulties in making decisions that are capable of reconciling environmental and economic criteria within a specific socio-political framework.

Chapter 1 provides an overview of the hydraulic fracturing technique from the global, European and state / regional perspectives.

Law 21/2013 of December 9 on Environmental Evaluation establishes the obligation to submit to Strategic Environmental Assessment, the plans from which projects that could have an impact on the environment are derived.

The European Commission's recommendation, of January 22, 2014 on hydraulic fracturing, establishes that hydraulic fracturing projects must be evaluated through the Environmental Evaluation of Plans and Programs instrument.

In the Spanish context, there is a clash of interests when assessing the implementation of hydraulic fracturing, with the rejection of environmental groups and part of society due to the impact on the environment, and the defense of economic sectors for the anticipation of job creation and promotion of the economy. This work advances a methodology of evaluation the sustainability of the hydraulic fracturing technique to graduate the environmental, economic, socio-political and technological aspects, relevant for decision making.

The concept of sustainable development first adopted in the Brundtland, 1987 report prepared for the UN² covers more facets than the environmental one; this includes the economic and socio-political aspects of an activity. Some authors also incorporate technology as a relevant factor in sustainability by modulating the other three aspects.

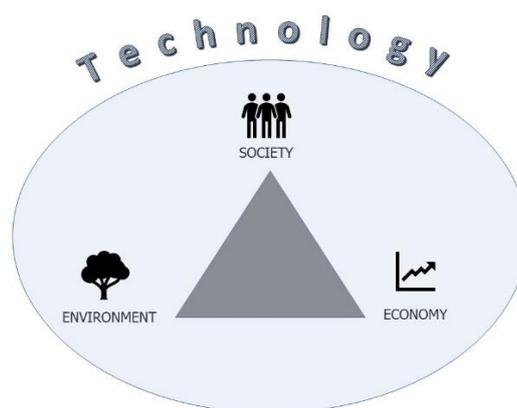


Figure 1. Representation of the concept of sustainable development.

² Brundtland, G.H., 1987. Our common future. World Commission on Environment and Development. Oxford University Press.

The difficulty of evaluating sustainability lies in the need to work with factors that operate in opposition such as environmental and economic aspects, and the intrinsic subjectivity to the assessment of some socio-political aspects such as social perception.

The sustainability evaluation methodology followed in this work is based on the combination of the multicriteria decision method called "Analytic Network Process" (ANP) designed by Professor Thomas L. Saaty in the 90s as a generalization of the hierarchical analytical process (Analytic Hierarchy Process, 1980), and Fuzzy logic.

Fuzzy theory was developed by Lofti A. Zadeh in 1965 in order to mathematically represent the intrinsic imprecision of certain categories of objects.

According to the framework for sustainability assessment in the energy sector, qualitative methodologies and semiquantitative methodologies, generally applied, are valued, concluding that the analytical network process (ANP) combined with Fuzzy numbers is a procedure that can systematically help decision making in the complex problem raised by the evaluation of the sustainability of hydraulic fracturing.

The Analytical Network Process (ANP) is designed to make complex decisions in which multiple interrelated factors are involved, as is the case of sustainability assessment, with environmental, socio-political, economic and technological factors playing a role in that. It is based on the construction of peer judgments comparing the importance of the different factors between themselves. Given the intrinsic subjectivity and intrinsic imprecision of human judgments, the theory of diffuse subsets is especially applicable, so that, in each judgment, the value chosen by the decision maker is not a specific number on a certain scale, but a range of values .

First stage in application of the Fuzzy-ANP methodology has been the preparation of the inventory of the relevant sustainability factors in the Spanish case (14) grouped into environmental, economic, socio-political and technological clusters.

In order to determine the priority ranking of criteria, that is, which criteria have greater influence on others and, therefore, greater weight on the sustainability of hydraulic fracturing, once the 14 criteria grouped into four clusters have been defined (environmental, economic, socio-political and technological), and to support the judgments by pairs, characteristic of the ANP technique, an intense bibliographical research on hydraulic fracturing has been developed, fundamentally derived from the wide American experience. The data inventory is the result of this research in relation to the definition of the different factors of sustainability, particularized, as far as possible, to the Spanish case.

Applying the effects assessment of hydraulic fracturing, the ANP method evaluates which criterion is the most important in terms of influence. First, the evaluation is carried out within each cluster without taking into account factors belonging to other clusters, resulting in the use of resources (MA2) being the most important in the environmental cluster, while the price of gas (EC2) is the predominant factor in the economic cluster, and social perception (SP3) is the determining

factor in the socio-political cluster. Within the technological aspects, it has been considered that there is no interrelation between the two factors involved: T1 (experience, technological dependence and infrastructures), and T2 (geological conditions-reserves).

Finally, the interrelations between the different factors within the cluster itself and with other different clusters are considered, determining that there is a great dependence between them, reflected in the different peer comparison matrices covered by the ANP methodology. With the obtaining of the limit supermatrix in which all the columns converge, the ranking of importance of the different factors in terms of influence over the others is obtained, resulting in social perception (SP3) as the most influential aspect (16.92%). Social aspects, with 37.85% are the most relevant, while the economic ones occupy the last position, due to the little influence they exert on factors belonging to other clusters.

An analysis of sensitivity of the model to changes in the judgments issued is performed, determining how much the importance given to each factor has to vary when making the judgments so that the "social perception" factor (SP3) goes to the second position. The most sensitive aspects are, in this order, the lack of regulation (SP4), social perception (SP3), experience, technological dependence and infrastructures (T1) and environmental burdens (MA1).

Once the social perception barrier has been overcome, an exercise that is carried out in section 2.4.4 removing the socio-political factors from the model, the new importance ranking is determined by obtaining a new limit supermatrix. In that case, it can be seen that technological dependence and experience (T1) is decisive due to the strong influences it exerts on the rest of the aspects, especially economic and environmental ones, with 31.47% of the total ranking, and in second place is the use of resources (MA2) with 22.36% of relative importance.

In order to assess the subjectivity of the evaluation carried out, the analysis is repeated, incorporating the assessment of academics in the field of Chemical Engineering, through conducting surveys, obtaining similar results. The increase in the importance of the gas price (EC2) and the lack of regulation (EC4) stands out, with rest of the values being very similar, and social perception occupying the first position (SP3), followed by experience, technological dependence and infrastructures (T1) and environmental burdens (MA1) in third position. This shows that the established hierarchy is a robust result according to the technical evaluation of the analyzed information.

The analysis has been completed with an economic study of the profitability of a shale gas well in Spain determining the variables that would make economically profitable its exploitation.

Planteamiento

CAPÍTULO 1. PLANTEAMIENTO

1.1. La técnica de la fracturación hidráulica horizontal

En los yacimientos de petróleo y gas convencionales, bajo determinadas condiciones geológicas, el petróleo y gas formados en la roca madre migran hacia estratos porosos y permeables situados más arriba, cubiertos o sellados por rocas impermeables para formar los depósitos de hidrocarburos. Estos depósitos se caracterizan por un alto contenido en hidrocarburos, la alta permeabilidad de la roca depósito y el relativamente fácil acceso a estos depósitos situados a pocos kilómetros de profundidad, lo que hace que su extracción sea relativamente simple a través de una perforación vertical convencional.

Sin embargo, los depósitos de hidrocarburos también pueden estar almacenados en grandes volúmenes de roca madre de pizarras (shales), u otras rocas de grano fino donde el hidrocarburo se almacena en pequeñas grietas y poros extremadamente pequeños. Estas rocas almacenan el hidrocarburo en su origen (roca madre), y se caracterizan por tener una muy baja permeabilidad. Estos hidrocarburos constituyen el llamado gas o petróleo de pizarra (gas shale / oil shale).

Los depósitos de gas de pizarra (shale gas) contienen una proporción variable, en función del yacimiento, de diferentes gases: metano principalmente, pero también otros hidrocarburos aromáticos y alifáticos, además de dióxido de carbono, sulfhídrico, radón radiactivo etc.

Por tanto, los yacimientos de gas /petróleo de pizarra, se caracterizan por el bajo contenido de hidrocarburos por unidad de volumen de roca, la baja permeabilidad de la misma, así como su disposición a más profundidad que en los yacimientos convencionales, lo que implica:

- 1) Para recuperar cantidades relevantes de hidrocarburos, es necesario explotar grandes volúmenes de roca madre, lo que se traduce en la ocupación de grandes extensiones de terreno en superficie, con múltiples pozos.
- 2) La baja permeabilidad obliga a crear una permeabilidad secundaria "artificial" mediante la generación de microgrietas en la pizarra, de forma que se comuniquen los poros existentes y se creen canales a través de los cuales pueda fluir el recurso hacia la superficie. Esto se lleva a cabo a través de la fracturación hidráulica, técnica ya utilizada desde hace años para estimular pozos de petróleo convencionales con baja producción.
- 3) Los dos condicionantes anteriores, obligan a emplear una nueva técnica, la perforación horizontal, de forma que en profundidad el pozo discurra a lo largo del estrato de pizarra para fracturar grandes volúmenes de roca. Así mismo, la disposición en profundidad de dichos yacimientos (hay que recordar que el hidrocarburo no migró hacia la superficie, como sucedía en los yacimientos convencionales, sino que se está recuperando de la roca madre),

hace que sea necesario perforar verticalmente una media de más de 2,5 kilómetros, para continuar con perforación horizontal a lo largo del estrato de pizarra.

El gas de pizarra se puede encontrar en forma de gas libre o adsorbido en las micropartículas carbonosas, estimándose que un yacimiento es bueno si contiene más del 1% de carbono orgánico total (TOC), y muy bueno si contiene más del 2% (U.S. Energy Information Administration (EIA), 2013).

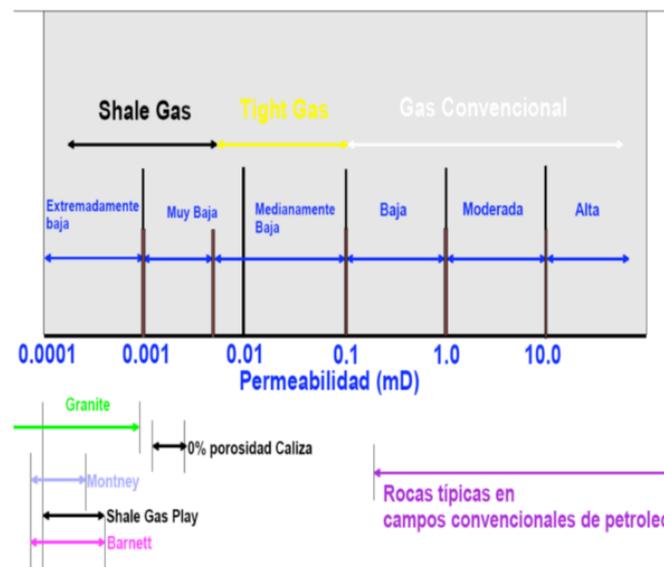


Figura 1.1. Rangos de permeabilidad en los yacimientos convencionales y no convencionales (U.S. Energy Information Administration (EIA), 2013).

Realizada la perforación vertical hasta alcanzar la roca objetivo, y posteriormente la perforación horizontal a lo largo de la misma, para la creación de las microgrietas se inyecta un fluido a presión que contiene en un 90% agua (además de arena y aditivos), a presiones que pueden alcanzar los 20,000 psi (Montgomery et al., 2010).

Para evitar que se cierren las grietas creadas una vez cesada la presión que las creó, con el agua se bombea un agente soporte, denominado propante (propant en inglés), generalmente arena, que mantiene las grietas abiertas de forma permanente.

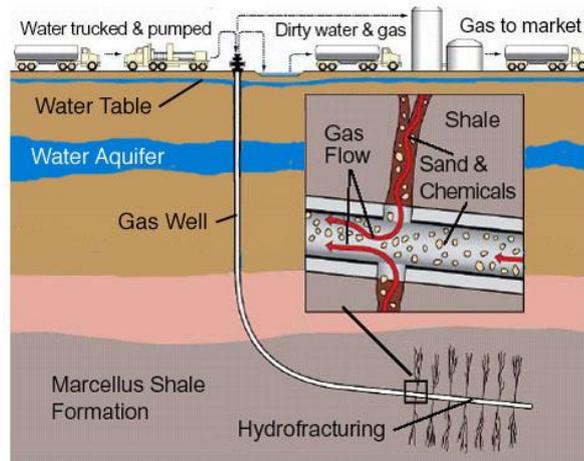


Figura 1.2. Esquema de la fracturación hidráulica.

Una vez completada la fracturación hidráulica, la presión interna de la formación geológica hace que los fluidos inyectados asciendan a la superficie, donde son almacenados en tanques o balsas antes de su reciclado para reinyección, o bien, tratamiento previo a su vertido.

1.2. El gas natural convencional y el gas de pizarra en el contexto energético internacional, europeo y español.

Las reservas mundiales de gas de pizarra (recursos recuperables técnicamente, reservas no probadas) ascienden a 7.795 Tcf¹, mientras que los recursos totales se estiman en 35.782 Tcf (U.S. Energy Information Administration (EIA), 2013).

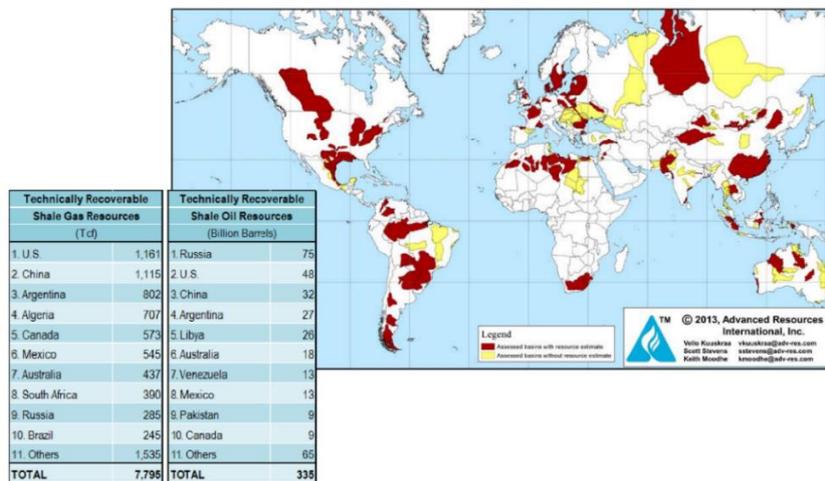


Figura 1.3. Cuencas con recursos de shale y oil gas en el Mundo (U.S. Energy Information Administration (EIA), 2013).

¹ 1 Trillion Cubic Feet (TCF) = 10¹² pies cúbicos (cf) = 28,3 BCM (billones de metros cúbicos, en condiciones estandar).

Dos tercios de las reservas de gas de pizarra mundiales se concentran en seis países: U.S., China, Argentina, Argelia, Canadá y Méjico.

Tabla 1.1. Reservas de gas de pizarra por continentes (U.S. Energy Information Administration (EIA), 2013).

Continent	Risked Gas In-Place (Tcf)	Risked Technically Recoverable (Tcf)
North America (Ex. U.S.)	4,647	1,118
Australia	2,046	437
South America	6,390	1,431
Europe	4,895	883
Africa	6,664	1,361
Asia	6,495	1,403
Sub-Total	31,138	6,634
U.S.	4,644	1,161
TOTAL	35,782	7,795

Dentro de Europa, la distribución de las reservas (no probadas) de gas de pizarra es la mostrada en la Figura 1.4.

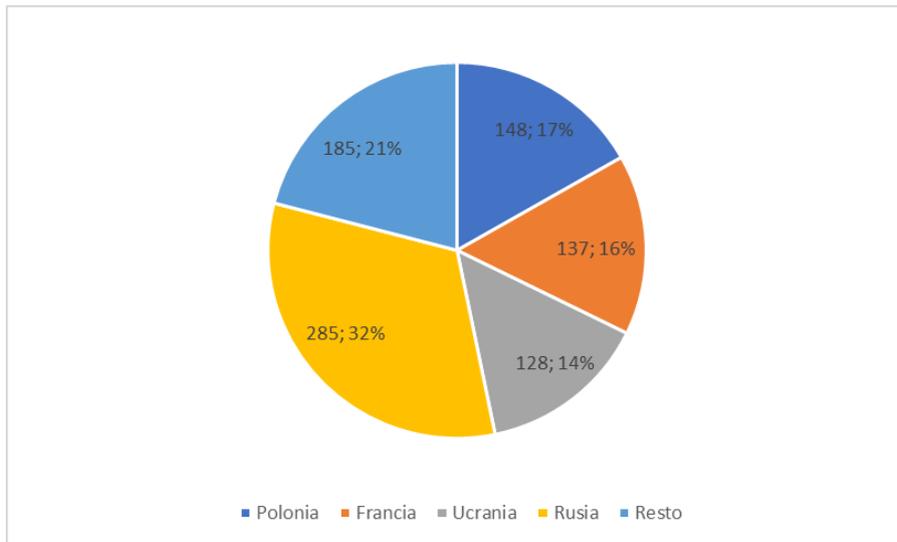


Figura 1.4. Reservas de Gas de pizarra en Europa (Tcf). Datos obtenidos de U.S. Energy Information Administration (EIA), 2013.

Las reservas mundiales totales probadas de gas natural ascienden a 6.588,8 Tcf (trillones de pies cúbicos). Dentro de estas reservas probadas la mayoría de los países (a excepción de U.S.) no contabilizan reservas de gas de pizarra, sino únicamente de gas natural convencional. Las principales reservas probadas en el caso del gas natural convencional están en Rusia, Irán y Qatar, abarcando estos tres países casi el 50% de las reservas totales mundiales (3.180,7 Tcf). En Europa occidental,

las reservas probadas son muy reducidas, siendo las más altas en el Reino Unido con 7,3 Tcf (BP Statistical Review of World Energy, 2016). En España las reservas no probadas de gas de pizarra son 7,795 Tcf (ver apartado 1.5).

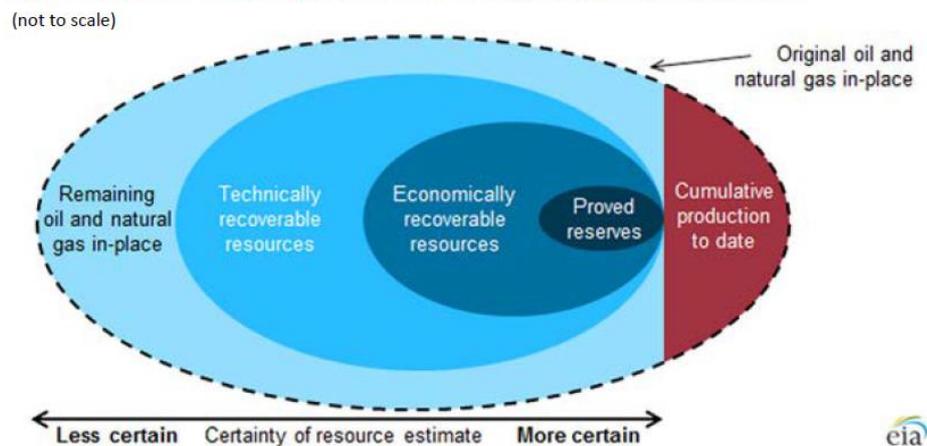


Figura 1.5. Clasificación de las categorías de recursos aplicable a gas natural . U.S. Energy Information Administration (EIA), 2015.

En España se han descubierto yacimientos de petróleo y gas en varios campos en tierra y mar. El primero de ellos de petróleo, en 1964, en Ayoluengo (Burgos) y los posteriores en el mar Mediterráneo, golfo de Valencia, mar Cantábrico, valle del Guadalquivir y golfo de Cádiz. En 2017 la producción interior de crudo fue de 120.105 toneladas y la de gas natural sumó 399,582 GWh, mientras que el consumo en 2017 fue de 350.769 Gwh, lo que supuso un grado de autoabastecimiento irrelevante del 0,20 % y del 0,11 %, respectivamente, sobre el consumo nacional. Entre 2010 y 2017 ha habido un descenso en el consumo de gas natural en España del 13% (datos Cores²).

En relación con el consumo de gas natural mundial, según BP³ en el 2017 fue de 3.670,4 billones (10⁹) de metros cúbicos (equivalentes a 129,69 Tcf), liderando este consumo EE.UU. con 739,5 billones de metros cúbicos (26,13 Tcf), con un incremento anual en este país entre los años 2006 y 2016 del 2,5%, debido principalmente al auge de la fracturación hidráulica. En Europa ha habido un descenso en el consumo del 0,9 % anual entre 2006 y 2016.

De los datos aportados anteriormente, se deduce que las reservas probadas de gas natural convencional se encuentran básicamente en los países de Oriente Medio y Rusia, mientras que

²<https://www.cores.es/es/estadisticas>

³ <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2018-natural-gas.pdf>

Europa y América tienen unos recursos mínimos de gas convencional. En contraposición, el gas de pizarra está distribuido por numerosos países del mundo, teniendo EE.UU. importantes reservas.

Las reservas mundiales de gas de pizarra (no probadas aún), equivalen aproximadamente a las reservas probadas de gas natural convencional existentes en la actualidad a nivel mundial.

La existencia de estas reservas en países dependientes de la importación de gas natural, como sucede a los países de la Europa occidental, hace que el gas de pizarra sea visto como una oportunidad para la diversificación energética de dichos países.

La producción primaria de energía en la Unión Europea fue un 14,7% menor en 2016 que en la década anterior (Eurostat).

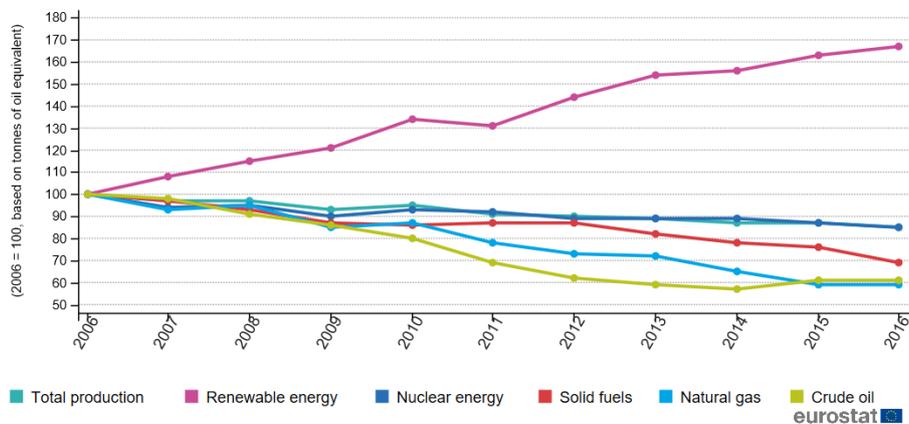


Figura 1.6. Evolución en la producción de energía primaria EU-28, en el periodo 2006-2016 (Eurostat⁴).

Las importaciones de energía primaria de la UE-28 superaron las exportaciones en alrededor de 904 MMtep en 2016. Los principales importadores netos de energía primaria fueron en general los Estados miembros de la UE más poblados, con la excepción de Polonia (donde se conservan algunas reservas autóctonas de carbón). En 2005, Dinamarca había sido el único exportador neto de energía primaria entre los Estados miembros de la UE, pero en 2013 las importaciones danesas de energía excedieron las exportaciones, de modo que ya no había Estados miembros que fueran exportadores netos de energía.

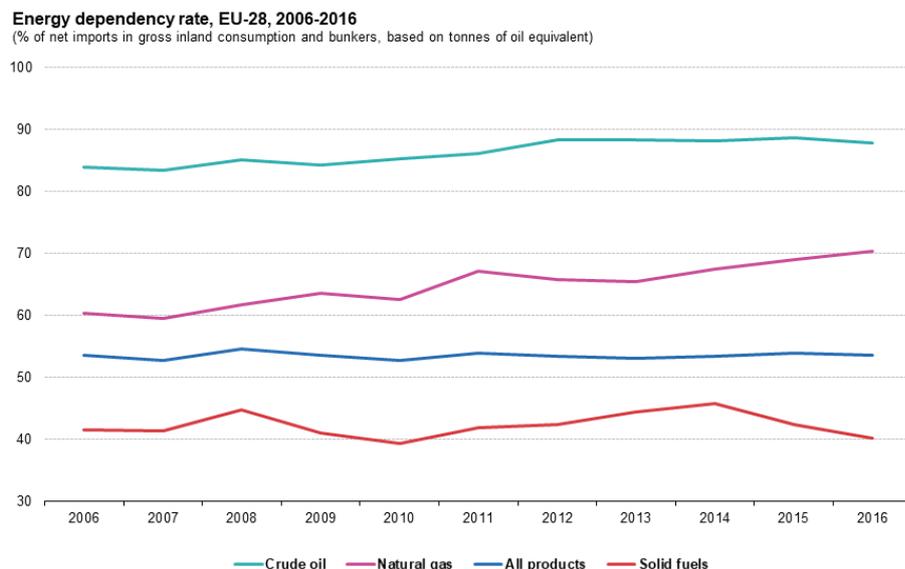
La seguridad de los suministros primarios de energía de la UE puede verse amenazada si una alta proporción de las importaciones se concentra en relativamente pocos socios. Más de la tres cuartas partes (77,1%) de las importaciones de gas natural de la UE-28 en 2016 provinieron de Rusia, Noruega o Argelia (Eurostat).

⁴ http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Energy_production_and_imports

En respuesta a las preocupaciones constantes sobre la dependencia de la UE de las importaciones de energía, en mayo de 2014 la Comisión Europea lanzó su estrategia de seguridad energética (COM(2014)330 final) que tiene como objetivo asegurar un suministro estable y abundante de energía. Además de las medidas a corto plazo que examinan el impacto de un cese de las importaciones de gas rusas o una interrupción de las importaciones a través de Ucrania, la estrategia abordó la seguridad a largo plazo de los desafíos de la oferta y las medidas propuestas en cinco esferas, entre ellas: aumentar la producción de energía en la UE y la diversificación de los países proveedores y las rutas, y hablar con una sola voz en la política energética exterior.

En 2015, la Comisión Europea publicó una comunicación relativa a una "estrategia marco para una Unión de energía resiliente con una política de cambio climático a futuro (COM(2015) 80 final)" que argumentaba que un elemento importante para garantizar la seguridad energética (en particular para el gas) era el cumplimiento total de los acuerdos relacionados con la compra de energía de países no miembros. Esto fue seguido en febrero de 2016 por las propuestas de la Comisión Europea para nuevas normas sobre la seguridad del suministro de gas de la UE (COM(2016) 52 final) y las nuevas reglas para los acuerdos de energía entre la UE y países no EU.

La dependencia EU-28 de las importaciones de energía aumentó de un poco más del 40% de consumo de energía bruta en 1990 para alcanzar el 53,6% en 2016. Desde 2004, las importaciones netas de energía de la UE-28's han sido mayores que su producción primaria; en otras palabras, más de la mitad del consumo de energía interior bruto de la UE-28's fue suministrado por las importaciones netas y la tasa de dependencia superó el 50% (COM(2016) 53 final).



Source: Eurostat (online data codes: nrg_100a, nrg_102a and nrg_103a)

Figura 1.7. Ratio de dependencia energética EU-28 2006-2016 (Eurostat).

La oposición de la población en muchos países europeos (en contraposición a lo sucedido en EE.UU., donde la tradición petrolera ha facilitado a introducción del fracturación hidráulica), argumentando los fuertes impactos al medio ambiente y sobre la salud ha provocado la prohibición de esta técnica por parte de algunos gobiernos.

Del estudio de bibliografía, consulta de artículos de prensa y páginas web en relación a la fracturación hidráulica en el ámbito europeo e internacional, realizado por el autor, se concluye que los gobiernos que han prohibido la técnica del fracturación hidráulica son:

- Francia.
- Bulgaria.
- Alemania.
- Escocia.
- Gales.
- Alemania.
- Estados de New York, Vermont y Maryland en EE.UU.

Otros países que han declarado una moratoria hasta que se establezca la naturaleza de impacto ambiental de la técnica son:

- Gales y Escocia (Reino Unido).
- Quebec (Canadá).
- Rumanía.
- Dinamarca.
- Irlanda.
- Sudáfrica.
- República Checa.

1.3. Perspectiva global de la fracturación hidráulica.

Según Speight, 2013 los países con potencial de desarrollo del gas de pizarra se pueden clasificar en dos bloques:

- Países con una alta dependencia en la importación de gas natural y que quieren garantizar el suministro e independencia energética. Dentro de este grupo de países estarían principalmente China y Europa, y dentro de Europa es relevante, en cuanto a su potencial, Polonia.

- Países con grandes recursos de gas de pizarra estimados y en los que ya existe infraestructura de producción de gas natural para uso interno o para exportación. Dentro de este segundo grupo estarían EE.UU. y Canadá.

Los recursos de hidrocarburos de gas de pizarra y tight oil han tenido un impacto significativo en las reservas de energía de América del Norte durante la última década. La producción del denominado gas natural "no convencional" de las pizarras estadounidenses como Barnett, Haynesville, Fayetteville, Marcellus y Utica, y las pizarras canadienses como Muskwa, Montney y Duvernay han saturado los mercados del gas en América del Norte, han impulsado las exportaciones de Canadá han convertido a los EE. UU. en un exportador neto de gas natural. El desarrollo del gas de pizarra norteamericano floreció en los Estados Unidos entre 2005 y 2010, impulsado por los altos precios del gas natural y del petróleo, la disponibilidad de opciones de arrendamiento favorables en los emplazamientos a explotar y la aplicación de tecnología de perforación y estimulación que podía producir cantidades comerciales de hidrocarburos con éxito a costos económicos. (Soeder,2018).

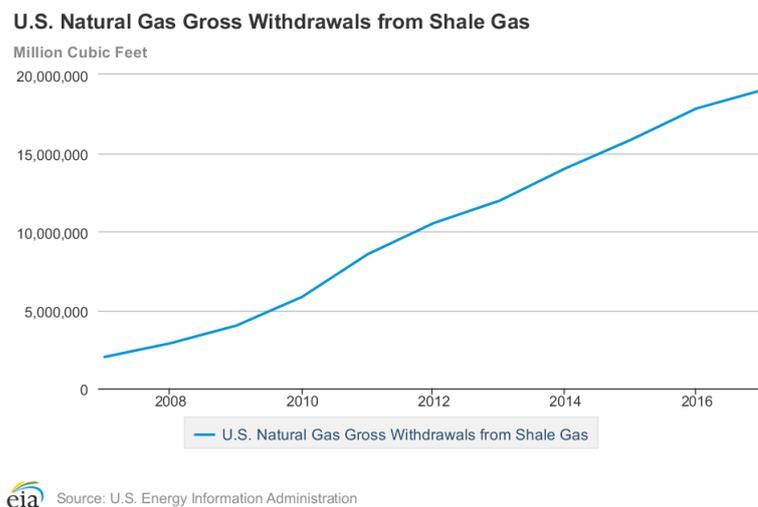


Figura 1.8. Evolución de la producción de gas de pizarra en EE.UU. (U.S. Energy Information Administration, EIA⁵).

El desarrollo en Canadá comenzó un poco más tarde, y también se ha producido algo de desarrollo en las pizarras en México. El temor público al proceso de fracturación hidráulica, se ha visto amplificado por los oponentes al gas de pizarra, lo que ha llevado a restricciones en muchas áreas y prohibiciones absolutas en algunos lugares como Nueva York y Quebec (Soeder,2018).

El desarrollo exponencial de esta técnica en EE.UU. unido a la falta de datos definitivos sobre el riesgo ambiental y la falta de experiencia de los operadores que ha provocado algunos accidentes son el origen de este rechazo social. Muchos operadores ahora reconocen que obtener una "licencia

⁵ https://www.eia.gov/dnav/ng/hist/ngm_epg0_fgs_nus_mmcfa.htm

social" de la comunidad es un primer paso necesario para un desarrollo del gas de pizarra exitoso (Soeder,2018).

Un estudio realizado en Canton (Central Pennsylvania) sobre la percepción social de la fracturación hidráulica en la zona (Ramsaran,2016), determina que aquellas personas que se benefician directamente de esta industria tienen una valoración más positiva que aquellos que no obtienen ningún beneficio directo.

La prohibición de explotar gas de pizarra en el estado de Nueva York se ha basado en la preocupación de la población en relación con la salud pública y los riesgos ambientales. Cualquier reconsideración de esta prohibición debería incluir, como mínimo, la consideración de la imposición de requisitos de gestión de riesgos para la salud pública y ambiental probada, factible y exitosa a través de la experiencia de la industria (Michaels, 2017). La fracturación hidráulica debería considerarse como una opción entre las estrategias energéticas alternativas, todas las cuales plantean riesgos, en lugar de clasificarse simplistamente como seguras o inseguras. Asumiendo que nuestras necesidades energéticas seguirán creciendo, nuestro objetivo debería ser guiar la evolución de nuestra cartera de energía hacia fuentes sostenibles a medida que surjan alternativas energéticas viables (Michaels, 2017) .

Algunos autores consideran el gas de pizarra como un sistema de transición hacia la generación renovable. Wu et al., 2016, determina que es viable construir un sistema de generación de energía eólica y fotovoltaica en Estados Unidos a partir del exceso de gas natural procedente del gas de pizarra, en menos de 30 años. Después de esto, la energía producida por el sistema renovable sería suficiente para reemplazar los equipos obsoletos y abastecer el crecimiento de la demanda. Incluso después de contabilizar las emisiones asociadas con su construcción y operación, el sistema sostenible reduciría las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y óxidos de nitrógeno en comparación con el uso continuo de un sistema basado en combustibles fósiles.

Gutian, 2013 señala que la explotación del petróleo y el gas no convencionales se basa en un modelo energético que hoy se está cuestionando y en el que una nueva evaluación es ahora necesaria, basándose en nuevos valores geoéticos de sostenibilidad ambiental y gestión económica no basados en especulación. La correcta gestión de los riesgos medioambientales derivados de este uso del subsuelo requiere un organismo regulador junto a una legislación, para garantizar que no se tomen decisiones con ningún fin que no sea el de proteger el medio ambiente, junto con la participación del público para garantizar la transparencia durante todo el proceso y la plena evaluación de las incertidumbres.

Es común la creencia de que la oposición a la fracturación hidráulica esté motivada por el déficit de conocimiento y/o la política del "no en mi patio trasero" ("not in my backyard", NIMBY). Sin embargo un estudio realizado en el condado de Westmoreland, Pensilvania (McLaughlin, et al., 2018)

donde es común la oposición a la fracturación hidráulica, pone de manifiesto la existencia de cuatro diferentes narrativas de factores entre las personas involucradas activamente en la oposición local a la fracturación hidráulica: (1) miedos futuros; (2) NIMBY (3) preocupaciones comunitarias; y (4) la desconfianza de los interesados. Los conflictos que emergen a través de estos cuatro factores son indicativos de un discurso más profundo dentro del debate sobre la fracturación hidráulica que significa diversidad en motivaciones, valores y convicciones, y sugiere la insuficiencia de la explicación de la oposición únicamente a partir de déficit de conocimiento y/o NIMBY.



Figura 1.9. Representación del concepto NIMBY “no en mi patio trasero”. Recuperada de la web el 17/11/2018.⁶

Según otros autores (Mayer et al., 2018) la identidad política tiene un impacto directo en el apoyo a las políticas y un impacto indirecto a través de percepciones de riesgo/beneficio y confianza en la industria del petróleo y el gas. Los autores, a través de un estudio realizado en Colorado, determinan que la identidad política es un factor de importancia única en la gobernanza ambiental porque impacta tanto las preferencias políticas como otras variables que, a su vez, también explican las preferencias de las políticas. La identidad política parece ser sobresaliente, incluso para las controversias de gobernanza local.

Minh-Thong L., 2018 analiza el potencial desarrollo del gas de pizarra en China y Europa basandose en las condiciones fundamentales consideradas como factores importantes para el éxito de la industria del gas de pizarra en los EE.UU. A través de estos análisis demuestra la dificultad de desarrollar este recurso fuera de Norteamérica. Considera que las condiciones para el desarrollo de los recursos, entre las que se incluyen las condiciones geológicas, las técnicas y la tecnología, el mercado del gas natural, las infraestructuras y las regulaciones son diferentes en los diferentes países, atribuyendo el éxito del desarrollo del gas de pizarra en EE.UU. a la combinación de varios factores favorables, principalmente los siguientes:

⁶ <https://envethics.files.wordpress.com/2013/09/nimby-comic1.jpg>

- Condiciones geológicas y naturales favorables.
- Liderazgo en tecnología avanzada.
- Políticas apropiadas para el desarrollo del gas de pizarra, favoreciendo la protección del medio ambiente y la confianza y aceptación de la población.
- Mercado liberalizado e infraestructuras apropiadas (redes de distribución de gas natural, que reducen los costes).

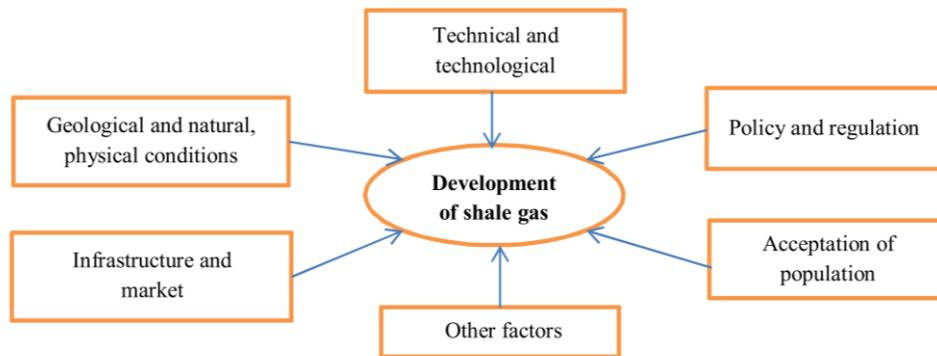


Figura 1.10. Factores clave que determinan el desarrollo de la industria del gas de pizarra (Minh-Thong L., 2018).

En Canadá, la fracturación hidráulica es una técnica de extracción de recursos energéticos que ha recibido mucha atención mediática pero poca investigación sistemática de científicos sociales. En un estudio basado en los datos de la encuesta sobre una muestra representativa de ciudadanos en una provincia que ha utilizado extensamente la fracturación hidráulica (Columbia Británica) y otra que ha puesto una moratoria sobre su uso (New Brunswick), se examinan las percepciones públicas del uso de dicha técnica (O'Connor, et al., 2018). En particular, este trabajo explora los riesgos y oportunidades que la gente percibe de esta tecnología en estos diferentes contextos regionales de energía. Los hallazgos sugieren que mientras los residentes de New Brunswick veían más beneficios y menos riesgos de la fracturación hidráulica que los residentes de la Columbia Británica, las variables que formaban percepciones dentro de cada provincia eran en su mayoría similares. Los autores concluyen que la teorización contemporánea del riesgo debe considerar más de cerca cómo la gente percibe las oportunidades asociadas al uso de esta tecnología disruptiva así como la manera en que el contexto conforma las percepciones de la gente.

Australia tiene el séptimo mayor volumen de gas de pizarra técnicamente recuperable en el mundo, la mayoría situado en el Sur. El gobierno de Australia del Sur ha incrementado el apoyo para capitalizar este recurso de gas no convencional, tanto en la cuenca del cobre como en las regiones surorientales del sur de Australia. Esto ha llevado a una gran preocupación comunitaria, especialmente en relación con el Sureste, ya que es adyacente a la región vinícola de Coonawarra (Bubna-Litic, 2015). El autor evalúa críticamente los mecanismos puestos en marcha en el lugar para

hacer frente a los impactos sociales y ambientales de la fracturación hidráulica, mirando el proceso en Penola (sur de Australia) y basándose en la experiencia estadounidense, donde se han hecho intentos de "hacer que la fracturación hidráulica sea sostenible".

China se ha convertido recientemente en uno de los mayores productores de gas de pizarra del mundo. Sin embargo, poco se sabe acerca de cómo el desarrollo de gas de pizarra y la fracturación hidráulica afectan a las comunidades locales en China ni cómo las comunidades locales perciben este desarrollo. Basándose en un trabajo de campo realizado durante agosto de 2015 en dos aldeas de la provincia de Sichuan y el municipio de Chongqing, Sher et al., 2018 muestran que, si bien la fracturación hidráulica conduce a serios problemas ambientales y sociales, existen también importantes beneficios económicos y sociales. El estudio destapa los enfoques de apoyo activo y resignado del desarrollo del gas de pizarra en la China rural, dependiendo de si los residentes locales priorizan la economía o la política.

Brasil está entre las diez naciones con las mayores reservas de gas de pizarra del mundo. En Brasil, junto a la exuberancia de los bosques, los ríos y la biodiversidad, muchos recursos minerales importantes están presentes en áreas protegidas. En la cuenca del Paraná, una referencia en términos de biodiversidad en el sur de Brasil, y una de las tres mayores reservas de gas de pizarra, existe una oposición social como consecuencia de las discusiones públicas sobre los impactos ambientales que afectan al aire, el agua, la salud pública y el clima, promovidas tanto por la comunidad científica como por las organizaciones civiles. Estas preocupaciones están generando una legislación innovadora, sin precedentes en Brasil (Lenhard, et al., 2018).

1.4. Perspectiva europea de la fracturación hidráulica.

El planteamiento del desarrollo de gas de pizarra como una transición hacia un sistema energético basado totalmente en energías renovables en Europa es discutido por Henriët et al., 2018. En su estudio determina que una política climática estricta no implica el incremento de la producción de gas de pizarra en Europa, y al contrario, la prohibición del gas de pizarra en Europa a menudo contribuye al desarrollo de los recursos energéticos limpios, pero no siempre se da esta circunstancia.

Europa está en un estado inicial de desarrollo del gas de pizarra. A pesar de que existen grandes compañías de petróleo como BP, Statoil o Total, no disponen de la experiencia y las tecnologías avanzadas para la fracturación hidráulica, ya que la mayoría de estas compañías operan en el campo de los hidrocarburos convencionales, principalmente offshore. Por esto, el factor tecnológico puede suponer un obstáculo para el desarrollo de la fracturación hidráulica en Europa. (Minh-Thong, L., 2018).

Los países europeos han desarrollado respuestas diferentes al desarrollo del gas de pizarra. Algunos han impuesto prohibiciones absolutas, mientras que otros han emitido permisos e incluso

otorgado incentivos fiscales a la industria. En un estudio realizado sobre 16 países miembros de la UE (Van de Gaaf, et al., 2017) se concluye que el nivel de preocupación pública es una condición suficiente para una regulación restrictiva. Algunas condiciones solo funcionan en combinación con otras, mientras que la seguridad energética y la tradición democrática no tienen impacto en la regulación del gas de pizarra y fracturación hidráulica. Los resultados indican que la aceptación del gas de pizarra no es simplemente una función de factores estructurales como la geología o la densidad de población, sino más bien el resultado de factores políticos.

Por otr aparte, el conocimiento de las formaciones de gas de pizarra en Europa es muy limitado dado que se han realizado muy pocas perforaciones on-shore (Inman, 2016). A pesar de varios años de perforación exploratoria, en la actualidad no existen pozos de gas de pizarra en producción en Europa, siendo los resultados en general decepcionantes.

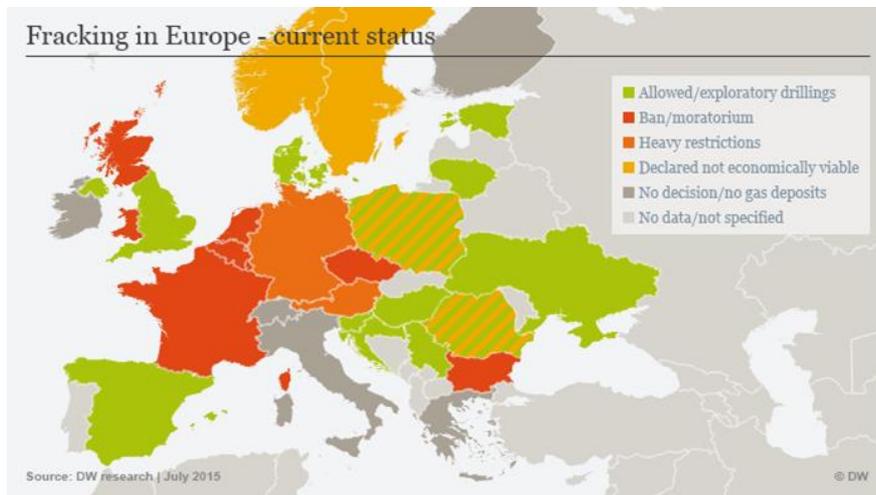


Figura 1.11. Posición de los países europeos frente a la explotación del gas de pizarra.⁷

Uno de los primeros países de Europa que centró la atención en la producción de gas de pizarra es Polonia que, según las estimaciones preliminares, posee considerables reservas. El interés de Polonia por el desarrollo del gas de pizarra es mayor si se tiene en cuenta que este país buscaba aliviar su dependencia de Rusia (Zoon, 2017).

A mediados de la década de 2000, el floreciente boom de pizarra de Estados Unidos llevó al gobierno de Polonia a ofrecer licencias de exploración de pizarra a compañías locales y grandes firmas internacionales de energía, incluidas las compañías estadounidenses ExxonMobil y Chevron, y la firma francesa Total. El ministro de Relaciones Exteriores de Polonia, Radosław Sikorski, dijo en

⁷ [https://www.dw.com/en/what-ever-happened-with-europes-fracturación hidráulica-boom/a-18589660](https://www.dw.com/en/what-ever-happened-with-europes-fracturación-hidráulica-boom/a-18589660)

2010 que Polonia se convertiría en "una segunda Noruega", refiriéndose al segundo mayor productor de gas natural de Europa, después de Rusia.

Mientras tanto, los resultados comenzaron a llegar desde los pozos de prueba. De los 72 pozos perforados a fines de 2015, 25 fueron fracturados con éxito para liberar gas. Sin embargo, estos pozos arrojaron solo de un tercio a una décima parte del flujo que se requeriría para obtener beneficios (Inman, 2016).

El desarrollo del gas de pizarra en Polonia se ha visto frenado por problemas tecnológicos, económicos y legales. A pesar de que en 2012 existían 111 concesiones de exploración, a partir de 2015 inversores extranjeros y compañías estatales abandonaron sus proyectos. Las principales causas, según Gefira, 2017 son las siguientes:

1. **Errores en la comunicación a los inversores en relación con los aspectos legales:** el 1 de enero de 2015 se promulgó una modificación de la Ley de Geología y Minería . Los medios extranjeros informaron que las concesiones para exploración se otorgaban por un período de cinco años con la posibilidad de una extensión por otros dos años. Como la exploración es un proceso a largo plazo, los inversionistas temían que si no comenzaban la producción en el momento apropiado, perderían sus derechos. Lo que es más, surgió la noticia de que el incumplimiento estricto del cronograma por cualquier razón daría lugar a sanciones financieras. Esto provocó la renuncia de las corporaciones extranjeras.
2. **El desplome del precio del gas de pizarra en los mercados mundiales,** como consecuencia de la incorporación de grandes cantidades de gas procedente del desarrollo masivo de la fracturación hidráulica en EE.UU.
3. **Las características geológicas y litológicas:** los depósitos de Polonia tienen poco grosor, con un máximo de 50 m en los sitios más favorables, lo que implica que la exploración es más difícil en relación con la determinación de las reservas. Además los depósitos, pertenecientes al Silúrico, se encuentran a gran profundidad entre 2,5 y 4 km bajo la superficie (hasta 5 km, frente a los 1-2 km de los yacimientos más relevantes de EE.UU.- Inman, 2016), siendo por tanto la tecnología de extracción más compleja. La cantidad de materiales arcillosos, que provocan una reducción de la permeabilidad, es otro factor desfavorable. El COT, que determina la cantidad de gas en el depósito es tan solo del 2% en algunos lugares (en otros llega al 11%), mientras que en EE.UU. se encuentra en una media del 10-12%.
4. **La tecnología necesaria:** dada la presencia de mucha arcilla en los depósitos polacos, los fluidos de fracturación hacen que la roca se hinche y no fluya el gas. Este inconveniente se ha solucionado con éxito en China mediante la fracturación con CO₂.

El autor concluye que Polonia debe esperar a cambios en el precio del gas que hagan viable económicamente la explotación de sus grandes reservas.

Por otra parte, las reservas en Polonia se estiman en la actualidad en el rango de 0-116 bcm con un valor probable de 38 bcm (Inman, 2016). Este valor dista mucho de las últimas estimaciones de la EIA-ARI 2015⁸ U.S. (Energy Information Administration, 2015 - Administración de Información sobre Energía de EE.UU.) para la que estimaban unas reservas de 145,8 Tcf (trillones de pies cúbicos) aprox. 4.129 bcm⁹.

En Rumanía los resultados de la exploración han sido malos, provocando que el gigante energético Chevron se retire del país. Otros países como Noruega o Suecia han determinado que sus recursos no son económicamente viables¹⁰.

En Reino Unido se ha establecido el objetivo de eliminar progresivamente las centrales de carbón para 2025, salvo que cuenten con sistemas de captura y almacenamiento de CO₂. El hueco dejado por el carbón se pretende llenar con el gas de pizarra, ya que sus emisiones de CO₂ son menores y se puede aprovechar la infraestructura existente para la producción de electricidad a partir de gas.

Cuadrilla Resources fracturó en 2011 con éxito un pozo en el norte de Inglaterra, pero los pequeños seísmos provocados hicieron que el Gobierno planteara una moratoria de un año.

El 3 de abril de 2018 Cuadrilla anunció¹¹ que había completado con éxito la perforación del primer pozo horizontal de gas de pizarra del Reino Unido en Preston, New Road en Lancashire. Este primer pozo horizontal, perforado a través de la pizarra Lower Bowland a una profundidad de aproximadamente 700 metros bajo tierra, se extiende lateralmente unos 800 metros a través del depósito de gas de pizarra.

1.5. Perspectiva española y autonómica de la fracturación hidráulica.

En España no existe una prohibición a la técnica de la fracturación hidráulica. Sin embargo algunas comunidades autónomas (Cantabria, La Rioja, Navarra, Cataluña) han promulgado leyes anti-fracturación hidráulica que han sido derogadas por el Tribunal Constitucional en los años 2014 y 2016 por invadir competencias estatales, derivadas de la ley de hidrocarburos.

⁸ <https://www.eia.gov/analysis/studies/worldshalegas/>

⁹ 1 Billion Cubic Meters (BCM) = 10⁹ m³ = 35,315 Billion cubic feet (Bcf) .

¹⁰ <https://www.dw.com/en/what-ever-happened-with-europes-fracturación-hidráulica-boom/a-18589660>

¹¹ <https://cuadrillaresources.com/media-resources/press-releases/cuadrilla-completes-uks-first-shale-gas-horizontal-well/>

Posteriormente, otras comunidades autónomas (País Vasco y Castilla la Mancha), han optado por promulgar leyes muy restrictivas que hacen casi inviable la fracturación hidráulica, evitando de esta forma el dictamen de inconstitucionalidad que podría surgir ante la prohibición de esta técnica.

La ley vasca fue anulada parcialmente en enero de 2018 por el Tribunal Constitucional. Los artículos anulados se refieren básicamente a la prohibición del uso de la fracturación hidráulica para la explotación de hidrocarburos en espacios de riesgo medio, alto o muy alto de contaminación de acuíferos, o donde pueda tener efectos negativos sobre las características geológicas, ambientales, paisajísticas o socioeconómicas. Según el Constitucional, la competencia de las autonomías para fijar normas adicionales de protección del medio ambiente no incluye la prohibición "absoluta e incondicionada de la fracturación hidráulica", lo que contravendría la ley estatal de hidrocarburos.

Sin embargo, el Tribunal Constitucional, en sentencia de 7 de junio de 2018 considera que la ley de Castilla-La Mancha ni contiene una prohibición legal expresa de esta técnica de carácter absoluto e incondicionado, como en los demás casos citados, ni efectúa una remisión incondicionada o en blanco a la Administración para que regule su posible uso.

La vía empleada por la ley de Castilla la Mancha, y avalada por el Tribunal Constitucional, implica la realización de una zonificación del territorio donde la fracturación hidráulica queda excluida, restringida o permitida.

El rechazo social a la técnica en España es evidente, con mociones de municipios, proposiciones de ley tramitadas en los parlamentos autonómicos, y la oposición de grupos ecologistas y otros grupos de participación social.

El discurso de los medios de comunicación en España sobre la fracturación hidráulica ha sido pesimista, subrayando casi siempre los impactos negativos sobre la salud humana, el medio ambiente y los recursos naturales locales, en vez de considerar la vertiente de seguridad de suministro energético y crecimiento energético. Lopera-Pareja, 2017 resalta la falta de una opinión pública clara a nivel nacional, a pesar de la fuerte oposición a nivel local, y la existencia de una fuerte confrontación entre el Gobierno nacional y los Gobiernos regionales, especialmente en aquellas regiones donde se plantean proyectos de exploración de gas de pizarra, como Cantabria, La Rioja y Cataluña, entre otros.

Mientras que las políticas estatales se diseñan para favorecer el desarrollo del gas de pizarra, atendiendo al deseo de la industria, los gobiernos locales y regionales se muestran más receptivos con el rechazo de la opinión pública a la técnica de la fracturación hidráulica.

En España las actividades de exploración, investigación y explotación de hidrocarburos están reguladas por la actual Ley 34/1998, de 7 de octubre, del Sector de Hidrocarburos y el Reglamento sobre investigación y explotación de hidrocarburos, aprobado por Real Decreto 2362/1976, de 30 de julio.

Las actividades a que se refiere el Título II de la Ley 34/1998 pueden ser realizadas por cualquier persona jurídica, pública o privada, con capacidad legal, técnica y financiera, mediante la obtención de las correspondientes autorizaciones, permisos y concesiones, que se otorgarán de acuerdo con los principios de objetividad, transparencia y no discriminación previa acreditación de los requisitos necesarios para ello.

- La autorización de exploración faculta a su titular para la realización de trabajos de exploración en áreas libres, entendiendo por tales aquellas áreas geográficas sobre las que no exista un permiso de investigación o una concesión de explotación en vigor. Los trabajos se limitan a trabajos de exploración de carácter geofísico u otros que no impliquen la ejecución de perforaciones profundas.
- El permiso de investigación faculta a su titular para investigar, en exclusiva en la superficie otorgada, la existencia de hidrocarburos y de almacenamientos subterráneos para los mismos, en las condiciones establecidas en la normativa vigente y en el plan de investigación previamente aprobado. El otorgamiento de un permiso de investigación confiere al titular el derecho, en exclusiva, a obtener concesiones de explotación, en cualquier momento del plazo de vigencia del permiso, sobre la misma área, previo cumplimiento de las condiciones exigibles.
- La concesión de explotación faculta a su titular para realizar el aprovechamiento de los recursos descubiertos, bien por extracción de los hidrocarburos, bien por la utilización de las estructuras como almacenamiento subterráneo de cualquier tipo de aquellos, así como proseguir los trabajos de investigación en el área otorgada.

La tramitación corresponderá a la Administración General del Estado cuando las técnicas de fracturación hidráulica se empleen en los trabajos propios de una autorización de exploración o permiso de investigación que afecte al ámbito territorial de más de una Comunidad Autónoma, en zonas del subsuelo marino así como cuando su ámbito comprenda a la vez zonas terrestres y del subsuelo marino. Las restantes autorizaciones de exploración y permisos de investigación corresponden a la Comunidad Autónoma en la que radiquen los terrenos.

Las concesiones de explotación de hidrocarburos son, en todo caso, competencia de la Administración General del Estado (en base a la aplicación de la Ley del Sector de Hidrocarburos-LSH).

La inclusión de la fracturación hidráulica en el ámbito de aplicación de la Ley del Sector de Hidrocarburos se materializó a través de la Ley 17/2013 , de 29 de octubre, para la garantía del suministro e incremento de la competencia en los sistemas eléctricos insulares y extrapeninsulares.

La Ley 17/2013 añade un párrafo 5 al artículo 9 de la LSH con la siguiente redacción:

"En el desarrollo de los trabajos a ejecutar en el marco de los títulos señalados en este artículo podrán aplicarse métodos geofísicos y geoquímicos de prospección, perforación de sondeos verticales o desviados con eventual aplicación de técnicas habituales en la industria, entre ellas, la fracturación hidráulica, la estimulación de pozo así como técnicas de recuperación secundaria y aquéllos otros métodos aéreos, marinos o terrestres que resulten necesarios para su objeto."

Esta nueva redacción de la Ley del Sector de Hidrocarburos supuso la atribución al Estado de las competencias en la concesión de explotaciones mediante fracturación hidráulica, y permitió la declaración de inconstitucionalidad de las leyes anti-fracturación hidráulica promulgadas.

En línea con el apoyo de Gobierno Estatal a la fracturación hidráulica, y con el fin de mejorar la aceptación social de la misma, se modificó la Ley de Hidrocarburos a través de la *Ley 8/2015, de 21 de mayo, por la que se modifica la Ley 34/1998, de 7 de octubre, del Sector de Hidrocarburos, y por la que se regulan determinadas medidas tributarias y no tributarias en relación con la exploración, investigación y explotación de hidrocarburos*. En la misma se establecen compensaciones a los propietarios de los terrenos donde se extraiga gas de pizarra, a las comunidades autónomas y entidades locales afectadas.

Actualmente la Ley 21/2013, de 9 de diciembre, de evaluación ambiental, detalla en su Anexo I, grupo 2 y en su Anexo II grupo 3, los proyectos concretos, asociados a las autorizaciones de exploración, permisos de investigación y concesiones de explotación, que deberán someterse a evaluación ambiental, ya sea ordinaria o simplificada, sin perjuicio de que, si así lo estime conveniente el órgano ambiental, se evalúen adicionalmente otro tipo de proyectos.

Según informe del año 2013 de la Administración Americana de Información sobre la Energía, las reservas de gas de pizarra para España (recursos recuperables técnicamente, reservas no probadas) ascienden a 7,795 Tcf, mientras que los recursos totales se estiman en 35,782 Tcf (U.S. Energy Information Administration (EIA), 2013).

Las reservas en España, están principalmente ubicadas en la Cuenca Vasco-Cantábrica en el Norte de España, donde pizarras jurásicas (Lias) ricas en materia orgánica, tienen un contenido medio en carbono orgánico total (COT) del 3%, con potencial de explotación de gas de pizarra. La cuenca del Ebro también tiene potencial, aunque en el informe realizado por la Agencia Americana de Información sobre Energía no se ha evaluado por tener un contenido en COT por debajo del 2% (U.S. E.I.A., 2015).

Una de las estimaciones más completas del potencial volumen de recursos prospectivos en España es el estudio realizado por Gessal, empresa consultora de exploración e investigación geológica y geofísica del subsuelo, que se publicó en marzo de 2013 (Gessal, 2013) Dicha evaluación cuantificaba los recursos convencionales y no convencionales, tanto de petróleo como de gas natural, en la totalidad de las cuencas españolas, determinándose unos recursos prospectivos de 1.977 bcm para el gas de pizarra, equivalentes a 69 Tcf.

Conviene subrayar que, si bien se consideran potencialmente recuperables, a diferencia de las reservas, no se define su viabilidad comercial al hacerse la estimación.

Tabla 1.2. Recursos prospectivos de hidrocarburos no convencionales en España (Gessal, 2013)

Dominio Geológico	Shale Gas (BCM)*	Tight Gas (BCM)*	Coal Bed (BCM)*	Total (BCM)*
Cuenca Vasco Cantábrica	1.084	2	x	1.086
Pirineos	260	3	x	263
Cuenca del Duero	72	x	x	72
Cuenca del Ebro	32	1	x	33
Cordillera Ibérica	95	x	x	95
Cadenas Catalanas	15	x	x	15
Cuenca del Guadalquivir	79	x	x	79
Cuenca Bética	x	2	x	2
Macizo Hespérico	340	x	41,3**	381
Totales:	1.977	7	41	2.026

* Gas recuperable

** Fuente IGME 2004

En relación con los permisos de investigación de gas de pizarra tramitados en la actualidad, la mayoría de ellos se centran en el Norte de España, principalmente las CC.AA. de Cantabria, País Vasco y Norte de Castilla y León (Burgos). (web del Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital¹²).

Costa et al., 2017 realizó un estudio sobre la percepción de la población española en general y los habitantes de la provincia de Burgos, donde ya se emitieron los permisos de exploración de gas de pizarra. Los resultados demuestran que la mitad de la población española se opone al gas de pizarra, y esta oposición aumenta en las comunidades autónomas que están más cerca de posibles sitios de exploración. Los resultados también muestran que los aspectos sociodemográficos no son fuertes predictores de la oposición.

¹²

<http://www6.mityc.es/aplicaciones/energia/hidrocarburos/petroleo/exploracion2017/mapas/inicio.html>

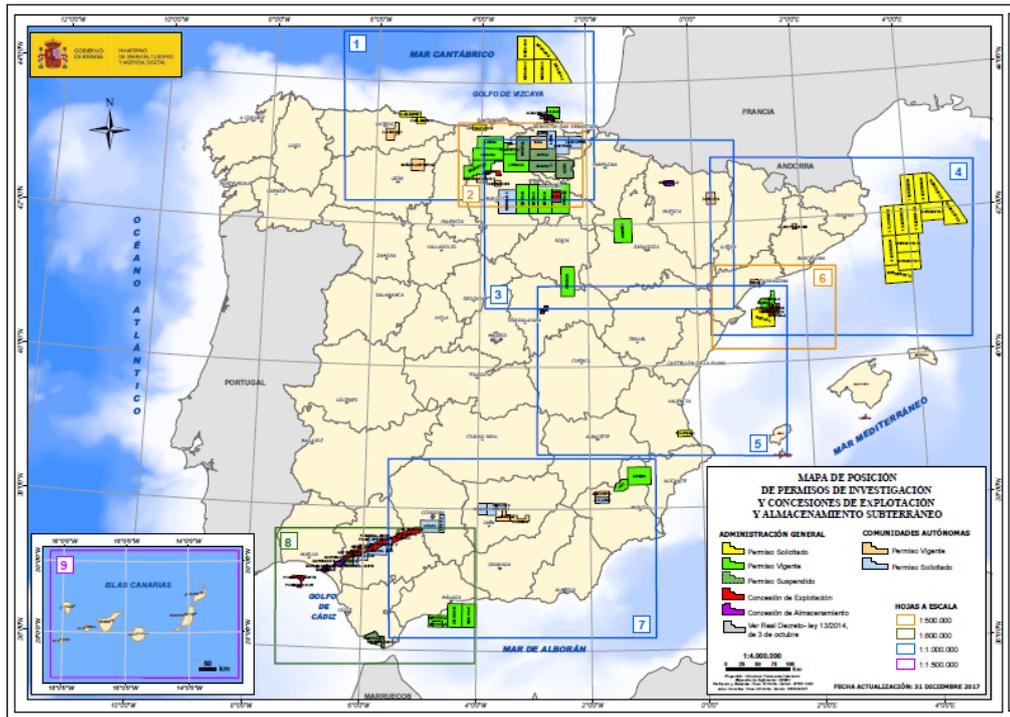


Figura 1.12. Mapa de permisos de hidrocarburos actualizado a Diciembre de 2017. Fuente: Web del Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital.

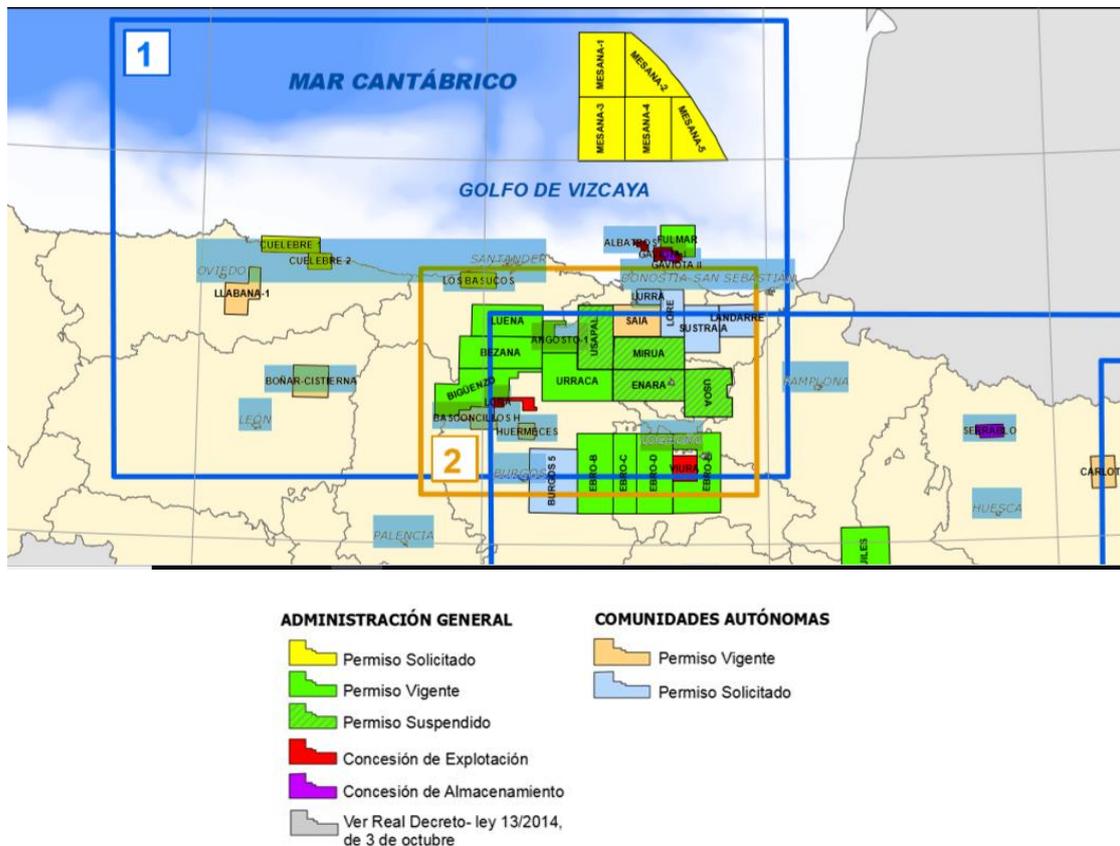


Figura 1.13. Detalle Norte de España actualizado a Diciembre de 2017. Fuente: Web del Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital.

En marzo de 2016 la mayoría de los grupos en el Congreso aprobó una iniciativa en la que se instaba al Gobierno a prohibir la técnica de la fracturación hidráulica.

En la actualidad, de las cinco empresas que lideraron en movimiento pro-fracturación hidráulica en España, creando el grupo de presión denominado Gas de pizarra España: BNK, Heyco (EE.UU.), R2 Energy (Canadá), San Leon (EE.UU.) y la Sociedad de Hidrocarburos de Euskadi (SHE), sólo SHE mantiene permisos de investigación vigentes, aunque ha desistido a la explotación de alguno de ellos mediante la técnica de la fracturación hidráulica.

1.6. Objetivos y estructura de la tesis

El objetivo principal de esta tesis es desarrollar una metodología multicriterio para la evaluación de la sostenibilidad de la fracturación hidráulica, particularizada para el caso español, con el propósito de:

1. Reducir posteriormente la complejidad de la toma de decisión con criterios de sostenibilidad, en la fracturación hidráulica.
2. Ponderar la importancia de los factores ambientales, económicos, socio-políticos y tecnológicos en base a los juicios del autor de la tesis.
3. Ponderar la importancia de los factores ambientales, económicos, socio-políticos y tecnológicos en base a la incorporación de las opiniones de académicos del ámbito de la ingeniería química, mediante la formulación de encuestas.

Los elementos que configuran la sostenibilidad (factores ambientales, económicos, socio-políticos y tecnológicos) forman un sistema complejo con importantes interacciones, específicas para cada caso de estudio, que son determinantes en la evaluación de la sostenibilidad de los procesos.

La aplicación de juicios en la toma de decisiones de sistemas complejos es habitual en las ciencias sociales. Sin embargo han sido poco aplicados al ámbito de la ingeniería, donde la toma de decisiones debe considerar la complejidad de los sistemas. Las evaluaciones a partir de juicios sobre sistemas complejos aportan argumentos más fundados para la toma de decisión.

Las técnicas de decisión multicriterio, como el Proceso Analítico Herárquico (AHP) y el Proceso Analítico en Red (ANP) constituyen una herramienta para la toma de decisiones complejas en sistemas en los que intervienen numerosos factores, por lo que es de interés su aplicación en la evaluación de la sostenibilidad de la fracturación hidráulica.

En la presente tesis se estudiarán las interacciones entre los diferentes factores de la sostenibilidad particularizados al caso español, y se ponderará su importancia relativa, en base a la aplicación de la técnica del Proceso Analítico en Red (ANP) combinada con la lógica difusa Fuzzy. Se estudiará la sensibilidad del sistema ante cambios en los juicios realizados en aplicación de la técnica

y se incorporará la visión de expertos en ingeniería en la ponderación de los juicios, mediante la realización de encuestas.

Para conseguir este objetivo general se plantean los siguientes objetivos específicos:

- Estudio de la bibliografía existente, en su mayor parte derivada de la experiencia americana, sobre los impactos e influencias de la fracturación hidráulica sobre el medio ambiente, la economía, la sociedad y la tecnología.
- Análisis bibliográfico de las técnicas utilizadas para la evaluación de la sostenibilidad.
- Identificación de los los factores relevantes, aplicados al caso español, en los diferentes clústeres ambiental, económico, socio-político y tecnológico (14 indicadores).
- Determinación del sistema de interrelaciones entre los diferentes factores que intervienen en la sostenibilidad de la fracturación hidráulica en España.
- Aplicación de la técnica del Proceso Analítico en Red (ANP) combinada con la lógica difusa Fuzzy para la determinación del ranking de importancia de los diferentes factores de la sostenibilidad, que indicará cómo debe realizarse la toma de decisiones en relación con la fracturación hidráulica en España.
- Estudio de la sensibilidad del modelo a los cambios en los juicios.
- Repetición de la evaluación incluyendo la opinión de expertos en el ámbito de la ingeniería química, mediante la realización de encuestas.

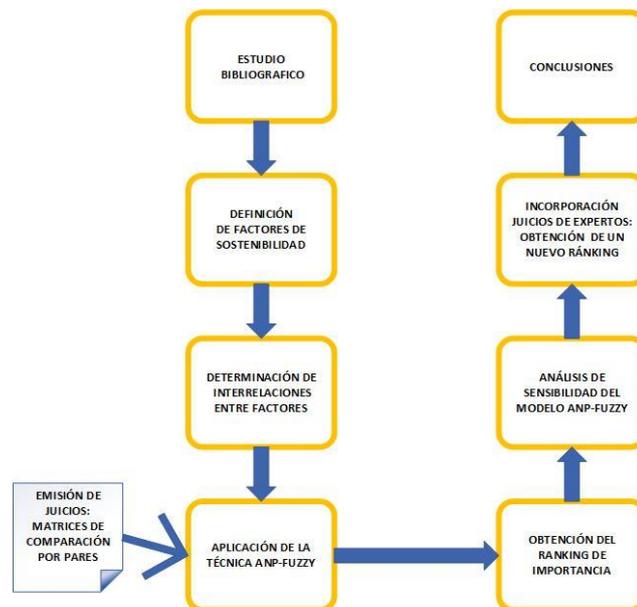


Figura 1.14. Esquema general de los objetivos de la tesis.

Esta tesis supone una contribución innovadora ya que se define una metodología aplicable a la evaluación de la sostenibilidad de la fracturación hidráulica en España, de un forma semicuantitativa en la que, si bien en la aplicación de los juicios propios de la técnica ANP entra en juego la subjetividad humana, la aplicación de una metodología con una importante base matemática hace que, como se demuestra en el análisis de sensibilidad, los resultados sean consistentes y con un alto grado de resiliencia a la variación de los juicios emitidos. La metodología propuesta no pretende entrar en la disyuntiva "fracturación hidráulica sí", "fracturación hidráulica no", sino constituir una herramienta útil para la toma de decisiones.

De acuerdo con los objetivos específicos, el trabajo se desarrolla en 4 capítulos: el Capítulo 1 incluye el planteamiento de la tesis en el que se analiza la fracturación hidráulica desde las perspectivas internacional, europea, española y autonómica y se definen los objetivos de la tesis.

En el Capítulo 2 se analizan las técnicas de evaluación de la sostenibilidad en el ámbito de la energía con especial referencia a la evaluación ambiental de planes y programas, clasificándolas entre técnicas cualitativas y semicuantitativas, una de las cuales, el Proceso Analítico en Red (ANP), es la técnica aplicada en esta tesis.

En el proceso de aplicación del método ANP se describen los factores integrantes de las variables ambiental, económica, socio-política y tecnológica de la fracturación hidráulica. Se realiza la evaluación de la sostenibilidad mediante la técnica atendiendo al criterio del autor de la tesis y posteriormente se repite la evaluación incorporando la opinión de académicos del ámbito de la ingeniería química.

El capítulo 3 establece las conclusiones de la tesis en relación con las cuestiones planteadas en los objetivos de la misma, con el fin de reducir la complejidad de la toma de decisión en relación con la sostenibilidad de la fracturación hidráulica en España.

En los Anexos se describe la base matemática de la metodología aplicada en la técnica ANP y la programación en Matlab utilizada, recopila la totalidad de las matrices de comparación por pares utilizadas en la técnica ANP creadas mediante la formulación de los juicios de comparación de criterios de sostenibilidad, desarrolla la obtención de la supermatriz límite basada en los juicios de autor de la tesis, que determina la prioridad de los factores de sostenibilidad, incorpora el análisis de sensibilidad de la metodología, incluye las encuestas realizadas por académicos, y el nuevo ranking de sostenibilidad basada en dichas opiniones. Este capítulo concluye con un estudio de la viabilidad económica de la fracturación hidráulica en España.

1.7. Referencias del Capítulo 1

- BP 2016. BP Statistical Review of World Energy.
- Bubna-Litic, K., 2015. Hydraulic fracturing in Australia: The future in South Australia?. *Environmental and Planning Law Journal*. 32, 437-464.
- Costa, D., Pereira, V, Góis, J., Danko, A., Fiúza, A., 2017. Understanding public perception of hydraulic fracturing: a case study in Spain. *Journal of Environmental Management*. 204, 551-562.
- Dlugokencky, E., Tans, P., 2018. ESRL Global Monitoring Division. Earth Syst. Res. Lab. <https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/global.html>. 30-03-2018.
- Gefira, 2017. Is The Polish Shale Gas Industry Set For a Comeback? <https://oilprice.com/Energy/Energy-General/Is-The-Polish-Shale-Gas-Industry-Set-For-A-Comeback.html>
- Gessal.-. Aciep, 2013.«Evaluación preliminar de los recursos prospectivos de hidrocarburos convencionales y no convencionales en España,» Gessal-Aciep, .
- Gutian, N.S., 2013. La aceptación social del fracking desde la geoética...y en contra. *Revista de Obras Públicas. Organo profesional de los ingenieros de caminos, canales y puertos*, ISSN 0034-8619, Nº. 3544, 61-64.
- Henriet, F., Schubert, K., 2018. Is Shale Gas a Good Bridge to Renewables? An Application to Europe. *Environmental and Resource Economics*. 7 Febrery, Pages 1-42.
- Inman, M., 2016. Can fracturación hidráulica power Europe?. *Nature*. 531,24.
- Lenhard, L.G., Andersen, S.M., Coimbra-Araújo, C.H., 2018. Energy-Environmental Implications Of Shale Gas Exploration In Paraná Hydrological Basin, Brazil (Review). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 90, 56-69.
- Lopera-Pareja, E.H., García-Laso, A, Martín Sánchez, D.A., 2017. Public policies, social perception and media content on hydraulic fracturing: An analysis in the Spanish context. *Annals of Geophysics*. 60, 7.
- Mayer, A., Shelley, T.O., 2018. The Dual importance of Political Identity in Environmental Governance: The Case of Oil and Gas Policy in Colorado. *Society and Natural Resources*, June 8th, 1-18.
- McLaughlin, D.M., Cutts, B.B, 2018. Neither Knowledge Deficit nor NIMBY: Understanding Opposition to Hydraulic Fracturing as a Nuanced Coalition in Westmoreland County, Pennsylvania (USA). *Environmental Management*, may 8th, 1-18.

- Michaels, R.A., Simon, R.W., 2017. Hydraulic Fracturing in New York state: Weighting risk and benefits. *Environmental Claims Journal*. 29, 253-268.
- Minh-Thong L., 2018. An assessment of the potential for the development of the shale gas industry in countries outside of North America. *Heliyon*. 4-2.
- Montgomery C.T., Smith, M.B., 2010. Hydraulic Fracturing. History of an Enduring Technology. *Journal of Petroleum Technology*, pp. 26-41, December 2010.
- O'Connor, C.D., Fredericks, K., 2018. Citizen perceptions of hydraulic fracturing: the risks and opportunities of natural gas development in Canada. *Energy Research and Social Science*. 42, 61-69.
- Ramsaran, D., Rousu, M.C., 2016. Experiencing the impact of Marcellus Shale: A case study. *International Journal of Social Economics*, 43, 517-531.
- Sher, C., Wu, C., 2018. Hydraulic fracturing in China: Community impacts and public support of shale gas development. *Journal of Contemporary China*. 27, 626-641.
- Soeder, D.J., 2018. The successful development of gas and oil resources from shales in North America (Review). *Journal of Petroleum Science And Engineering* 163, 399-420.
- Speight, J.G., 2013. *Shale Gas Production Processes*. Gulf Professional Publishing.
- U.S. Energy Information Administration (EIA), Washington DC, 2013. *Technically Recoverable Shale Oil & Shale Gas Resources: An Assessment of 137 Shale Formations in 41 Countries Outside the U.S.*
- U.S. Energy Information Administration, 2015, Washington . *Technically Recoverable Shale Oil and Shale Gas Resources - Spain*.
- Van de Graaf, T., Haesebrouk, T., Debaere, P., 2017. Fractured politics? The comparative regulation of shale gas in Europe. *Journal of European Policy*. April 6th, 1-18.
- Wu, K., Paranjothi, G., Milford, J.B., Kreith, F., 2016. Transition to sustainability with natural gas from hydraulic fracturing. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*. 14, 26-34.
- Zoon, I.S., Semenov, A.V., 2017. Shale gas production in Poland. *Handbook of Environmental Chemistry*. 52, 67-73.

Desarrollo

CAPÍTULO 2. DESARROLLO

2.1. Evaluación de la sostenibilidad en la energía: evaluación de planes y programas, características.

La evaluación de impacto medioambiental constituye un instrumento importante para la integración de consideraciones medioambientales en la preparación y adopción de algunos planes y programas que puedan tener repercusiones significativas sobre del medio ambiente en los Estados miembros de la Unión Europea, pues así se garantiza que se tendrán en cuenta durante la preparación, y antes de su adopción, esas repercusiones al elaborarse tales planes y programas. Dicha evaluación ambiental de planes y programas, o evaluación ambiental estratégica, tiene como objetivo controlar los efectos sobre el medio ambiente del desarrollo de determinadas políticas con carácter previo a la evaluación ambiental de los proyectos concretos. Considera los efectos acumulativos y sinérgicos del desarrollo de los proyectos individuales.

La Directiva 2001/42/CE del parlamento europeo y del consejo de 27 de junio de 2001 relativa a la evaluación de los efectos de determinados planes y programas en el medio ambiente establece el mecanismo de evaluación de los planes y programas en el ámbito de la Unión Europea. Esta Directiva ha sido transpuesta al ordenamiento estatal mediante Ley 21/2013, de 9 de diciembre, de evaluación ambiental, que regula así mismo la evaluación ambiental de proyectos. En su artículo 3, la Ley 21/2013 establece el ámbito de aplicación de la evaluación ambiental estratégica:

"1.Serán objeto de una evaluación ambiental estratégica ordinaria los planes y programas, así como sus modificaciones, que se adopten o aprueben por una Administración pública y cuya elaboración y aprobación venga exigida por una disposición legal o reglamentaria o por acuerdo del Consejo de Ministros o del Consejo de Gobierno de una comunidad autónoma, cuando:

a) Establezcan el marco para la futura autorización de proyectos legalmente sometidos a evaluación de impacto ambiental y se refieran a la agricultura, ganadería, silvicultura, acuicultura, pesca, energía, minería, industria, transporte, gestión de residuos, gestión de recursos hídricos, ocupación del dominio público marítimo terrestre, utilización del medio marino, telecomunicaciones, turismo, ordenación del territorio urbano y rural, o del uso del suelo; o bien,

b) Requieran una evaluación por afectar a espacios Red Natura 2000 en los términos previstos en la Ley 42/2007, de 13 de diciembre, del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad.

c) Los comprendidos en el apartado 2 cuando así lo decida caso por caso el órgano ambiental en el informe ambiental estratégico de acuerdo con los criterios del anexo V.

d) Los planes y programas incluidos en el apartado 2, cuando así lo determine el órgano ambiental, a solicitud del promotor.

2. Serán objeto de una evaluación ambiental estratégica simplificada:

- a) Las modificaciones menores de los planes y programas mencionados en el apartado anterior.
- b) Los planes y programas mencionados en el apartado anterior que establezcan el uso, a nivel municipal, de zonas de reducida extensión.
- c) Los planes y programas que, estableciendo un marco para la autorización en el futuro de proyectos, no cumplan los demás requisitos mencionados en el apartado anterior.”

Por tanto, los planes y programas referidos a la energía, están sometidos al procedimiento de evaluación ambiental estratégica ordinaria, que concluye con la declaración ambiental estratégica, con carácter preceptivo y determinante.

En el ámbito de la fracturación hidráulica, la recomendación de la Comisión de 22 de enero de 2014 sobre el fracturación hidráulica refuerza la idea de la necesidad de someter los planes y programas relativos a la utilización de esta técnica de evaluación ambiental estratégica. Así, en su punto 3.1. establece:

"Antes de conceder una autorización para una exploración y/o producción de hidrocarburos que puedan dar lugar a la aplicación de la fracturación hidráulica de alto volumen, los Estados miembros deben preparar una evaluación ambiental estratégica para prevenir, gestionar y reducir los impactos y los riesgos para la salud humana y el medio ambiente. Esa evaluación debe realizarse sobre la base de los requisitos de la Directiva 2001/42/CE."

Según Ness et al., 2007 el propósito de la evaluación de la sostenibilidad es facilitar a los agentes encargados de la toma de decisión una evaluación de los sistemas integrados naturaleza-sociedad, globales y locales, con perspectivas a corto y largo plazo, para ayudarles a determinar qué acciones debería o no tomar, con el fin de hacer la sociedad sostenible.

Según el informe de la Comisión Europea *"Socio Economic Tools for Sustainability Impact Assessment (2002)"*, el objetivo de evaluar el impacto en la sostenibilidad es suministrar una serie de variables de decisión cuantitativas y cualitativas que sirvan de guía y soporte para la toma de decisiones por parte de los agentes políticos. Se evalúan los aspectos positivos y negativos de una propuesta. Se debe entender como una ayuda a la toma de decisiones, no sustituyendo al juicio político.

Un concepto importante señalado por OCDE, 1993 es el modelo Presión – Estado - Respuesta (Pressure State Response, PSR), basado en el fenómeno causa-efecto aplicado al medio ambiente. Las actividades humanas ejercen presiones en el medio ambiente que provocan cambios en la cantidad y calidad de las condiciones medio ambientales (el estado, "state"). De acuerdo a esto, la sociedad responde a estos cambios a través de políticas ambientales, económicas y sectoriales

“societal response” para su adaptación. La respuesta de la sociedad actúa como feedback al segmento de presión ejercido por las actividades humanas (OECD, 1998). La figura 2.1 ilustra este concepto.

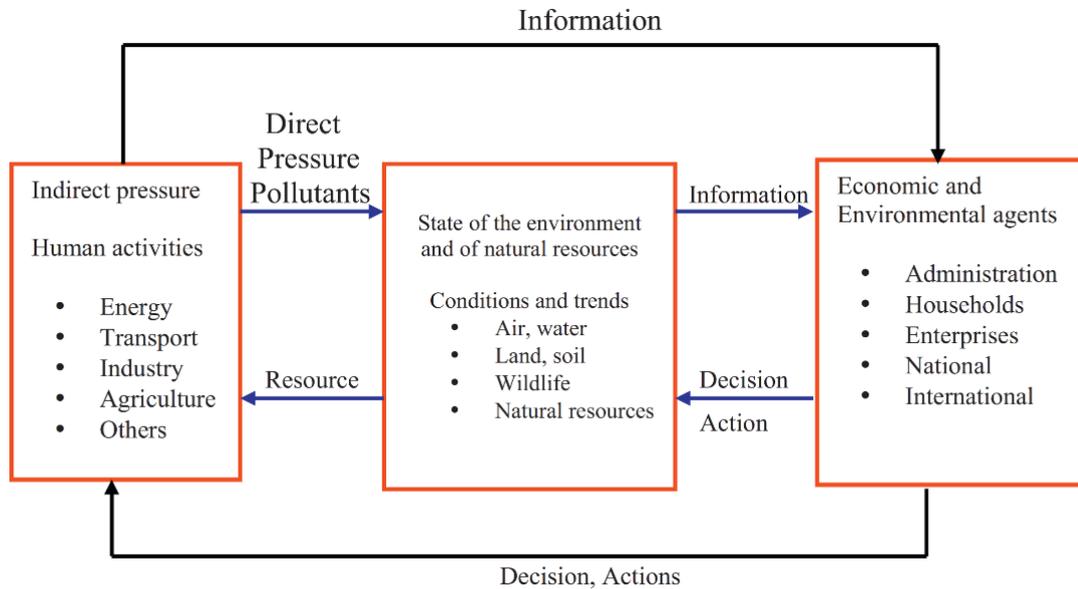


Figura 2.1. Modelo Presión - Estado - Respuesta. Singha et al., 2012.

El desarrollo sostenible de los sistemas energéticos se ha vuelto cada vez más importante para la política y los responsables de la toma de decisiones en todo el mundo (Santoyo et al., 2014).

Los principales objetivos políticos a nivel global incluyen el crecimiento económico, la seguridad de suministro energético y la mitigación de los efectos del cambio climático, para lo cual se requiere la integración de los tres aspectos de la sostenibilidad en la consideración de los sistemas energéticos: ambiental, económico y social. Este hecho es cada vez más reconocido por los agentes políticos y de toma de decisión y se ha reflejado en numeros estudios sobre la sostenibilidad de los sistemas energéticos (Botelho et al., 2016, Kammen et al., 2016, Kontic et al., 2016, Martín-Gamboa et al., 2017, Moslehi et al. 2016, Ren et al., 2018).

La Organización Internacional de la Energía en su informe de 2017 (IEA, 2017) plantea un nuevo escenario de desarrollo sostenible que ofrece una forma integrada de lograr una serie de objetivos relacionados con la energía, cruciales para el desarrollo económico sostenible: estabilización climática, aire más limpio y acceso universal a la energía moderna, al tiempo que también reduce los riesgos de seguridad de la energía.

Este escenario parte de un conjunto de resultados deseados y considera qué sería necesario para lograrlos. El punto central de estos resultados es la consecución de un pico temprano en las emisiones de CO₂ y un descenso rápido subsiguiente, consistente con el acuerdo de París (XXI Conferencia de las Partes sobre Cambio Climático, COP21).

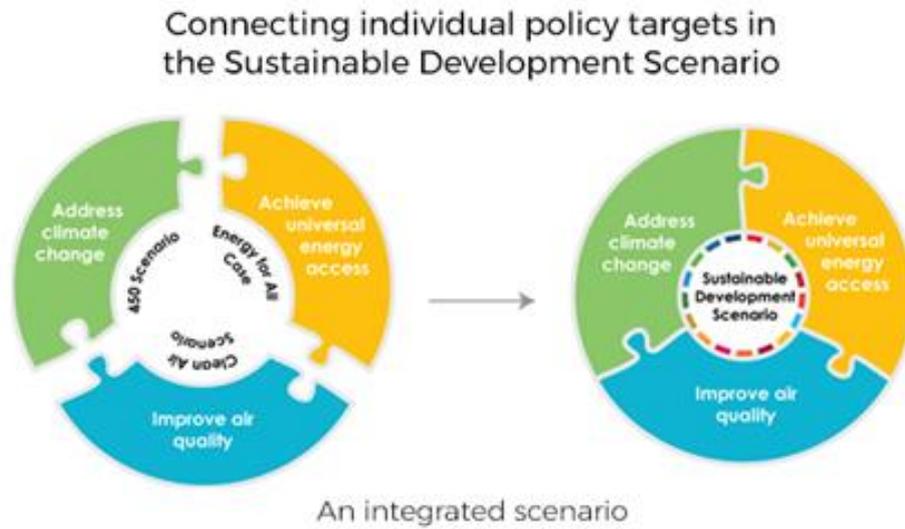


Figura 2.2. Escenario de desarrollo sostenible según IEA, 2017.

En la evaluación de la sostenibilidad se deben tener en cuenta los diferentes aspectos ambientales, económicos y socio-políticos, influidos por los factores tecnológicos. El elevado número de factores que entran en juego, hacen difícil cuantificar cada uno de ellos, y la importancia relativa de los mismos en la evaluación global de la sostenibilidad, por lo que dicha evaluación resulta un proceso sumamente complejo para el que se han desarrollado múltiples técnicas referidas a continuación.

2.2. Evaluación de la sostenibilidad: metodologías cualitativas.

La figura 2.3 muestra que la evaluación de la sostenibilidad y el proceso de toma de decisiones son dos actividades independientes pero mutuamente influenciadas. La evaluación de la sostenibilidad debe realizarse en las primeras etapas de la toma de decisión para que sea efectiva.

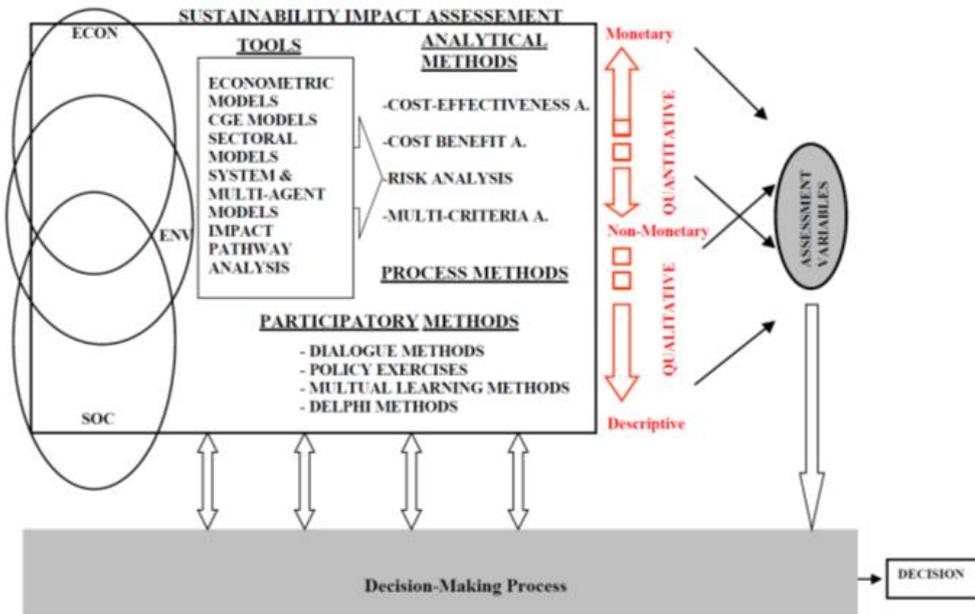


Figura 2.3. Herramientas y Métodos para la evaluación del impacto en la sostenibilidad (Directorate General for Research-European Commission, 2002).

Los impactos en la sostenibilidad se pueden describir en términos cualitativos, cuantitativos, y monetarios si es posible. Expresar los impactos en términos monetarios facilita la comparación de los diferentes impactos al estar expresados en las mismas unidades. En algunos casos, el nivel de incertidumbre puede ser demasiado alto para cuantificar de forma precisa, pudiendo establecerse rangos de valores. En otros casos, hay que manejar incertidumbres acumulativas que surgen del conocimiento incompleto de los procesos de tipo físico, químico y biológico o de comportamiento humano. No es posible producir resultados analíticos debido a las incertidumbres significativas o por el hecho de que algunas variables no pueden ser tratadas analíticamente. En esos casos, es posible una evaluación cualitativa (Directorate General for Research-European Commission, 2002).

De los métodos más cualitativos, utilizados cuando las incertidumbres son elevadas, están las aproximaciones participativas, que se refieren a preferencias sociales principalmente de los agentes responsables de la toma de decisiones o elecciones de expertos.

Según el Directorate General for Research-European Commission, 2002 se clasifican en:

- **Métodos de diálogo**, en el que los usuarios o destinatarios se consideran una fuente de información del análisis necesario para llevar a cabo la evaluación de la sostenibilidad.
- **Ejercicios políticos**, que son procesos estructurados de forma flexible, diseñados como una interconexión entre los científicos y los agentes políticos. Es una forma de generar información sobre el comportamiento humano y las preferencias políticas, en las que se crean partes para la negociación.

- **Métodos de aprendizaje mutuo**, que implican a los grupos de interés y ciudadanos de forma que se enriquecerá la evaluación desde una multiplicidad de perspectivas, habilidades y competencias. En unos casos los científicos juegan el rol de facilitadores y observadores, y en otros están activamente implicados como participantes.
- **El método Delphi**. Se basa en facilitar el intercambio de ideas e información permitiendo a cada participante tener igual input, lo que previene la prevalencia de posiciones dominantes por personalidad o estatus. Se crea un grupo de expertos que responden de forma separada y anónima a diferentes cuestionarios. Las respuestas del panel son cotejadas por un coordinador y devueltas a los participantes de forma sintetizada, solicitándoles una respuesta adicional, en la que pueden revisar sus posiciones iniciales. El proceso se repite con el objetivo de lograr un consenso entre el grupo

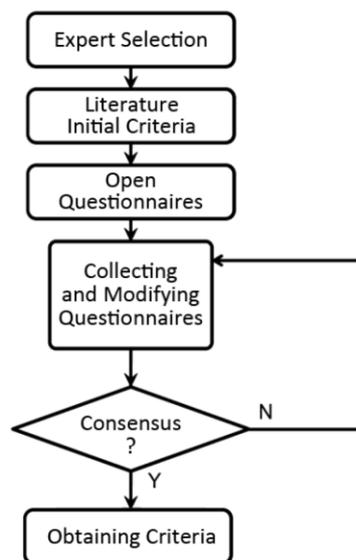


Figura 2.4. Esquema del método Delphi. Hsueh, 2012.

La gobernanza depende de los aportes de la ciencia. Mientras que la visión convencional representa a la ciencia como asesor de los encargados de la formulación de políticas, la visión más reciente ve los procesos de creación de conocimiento y procesos de decisión interrelacionados y entremezclados (Luks et al., 2007)

Shortall et al., 2015 evalúa la sostenibilidad de la generación de energía geotérmica en Islandia a través del método Delphi. Los resultados revelaron que los objetivos prioritarios de sostenibilidad para las partes interesadas estaban relacionados con la renovación, el uso de recursos hídricos y la gestión ambiental. Las cinco opciones de indicadores principales estaban relacionadas con la capacidad de reserva de recursos, la eficiencia de utilización, la vida útil estimada del recurso geotérmico y la calidad del aire y el agua.

LaBelle, 2012 examina tres enfoques diferentes de gobernanza que la Unión Europea y los Estados miembros confían para alcanzar una economía con bajas emisiones de carbono en 2050 y evalúa la capacidad de los mecanismos de gobernanza de la UE para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. La investigación empírica se basa en las respuestas de las partes interesadas europeas de la energía que participaron en una discusión del método de Delphi y en entrevistas semi-estructuradas; estos identificaron tres requisitos esenciales para que las emisiones de carbono se reduzcan a cerca de cero por 2050: (1) una red europea integrada de energía, (2) precios de carbono y (3) la reducción de la demanda. Se concluye que la gobernanza mediante la facilitación (eficiencia energética) no induce una inversión significativa y nuevos enfoques de política y no puede confiarse para lograr reducciones de demanda necesarias. La gobernanza mediante la negociación (Agencia para la Cooperación de Reguladores de la Energía- ACER) y la gobernanza por jerarquía (EU ETS) reducen los riesgos y pueden estimular la necesaria actualización tecnológica.

He, et al., 2008 construye un sistema de índices considerando los aspectos de estabilidad del suministro de energía, la sostenibilidad de la economía energética y la seguridad de la utilización de la energía para evaluar el riesgo de la seguridad energética en China. Utiliza el método Delphi y el método de análisis de componentes principales, y diez índices esenciales, como el índice de elasticidad del consumo de energía, la proporción de consumo de energía limpia, la tasa de autosuficiencia energética, el precio del petróleo, el riesgo regional de importación de petróleo, siendo elegidos para establecer el grado de seguridad energética como un índice general para la evaluación del riesgo energético.

2.3. Metodologías semicuantitativas: el Proceso Analítico Jerárquico (ANP) y el análisis en red Fuzzy.

Dunmade, 2017 propone la utilización de la técnica de Análisis del Ciclo de Vida ampliada a los aspectos sociales y económicos, constituyendo la Evaluación de la Sostenibilidad a lo largo del Ciclo de Vida (Life Cycle Sustainability Assessment, LCSA), para la evaluación de la sostenibilidad de la fracturación hidráulica. La carencia de información sobre temas esenciales obstaculiza la aplicación de esta técnica (por ejemplo, la cuantificación de los fluidos que escapan de los pozos sellados incorrectamente). Las cuestiones tienen respuestas difíciles, objetiva y científicamente por falta de datos, por no ser públicos, porque los datos existentes tienen una calidad variable dando lugar a interpretaciones divergentes, o a la existencia de un amplio rango de valores con diferentes implicaciones. Los "gaps" incluyen datos pro y contra aspectos ambientales, económicos y sociales, según se puede ver en la figura 2.5.

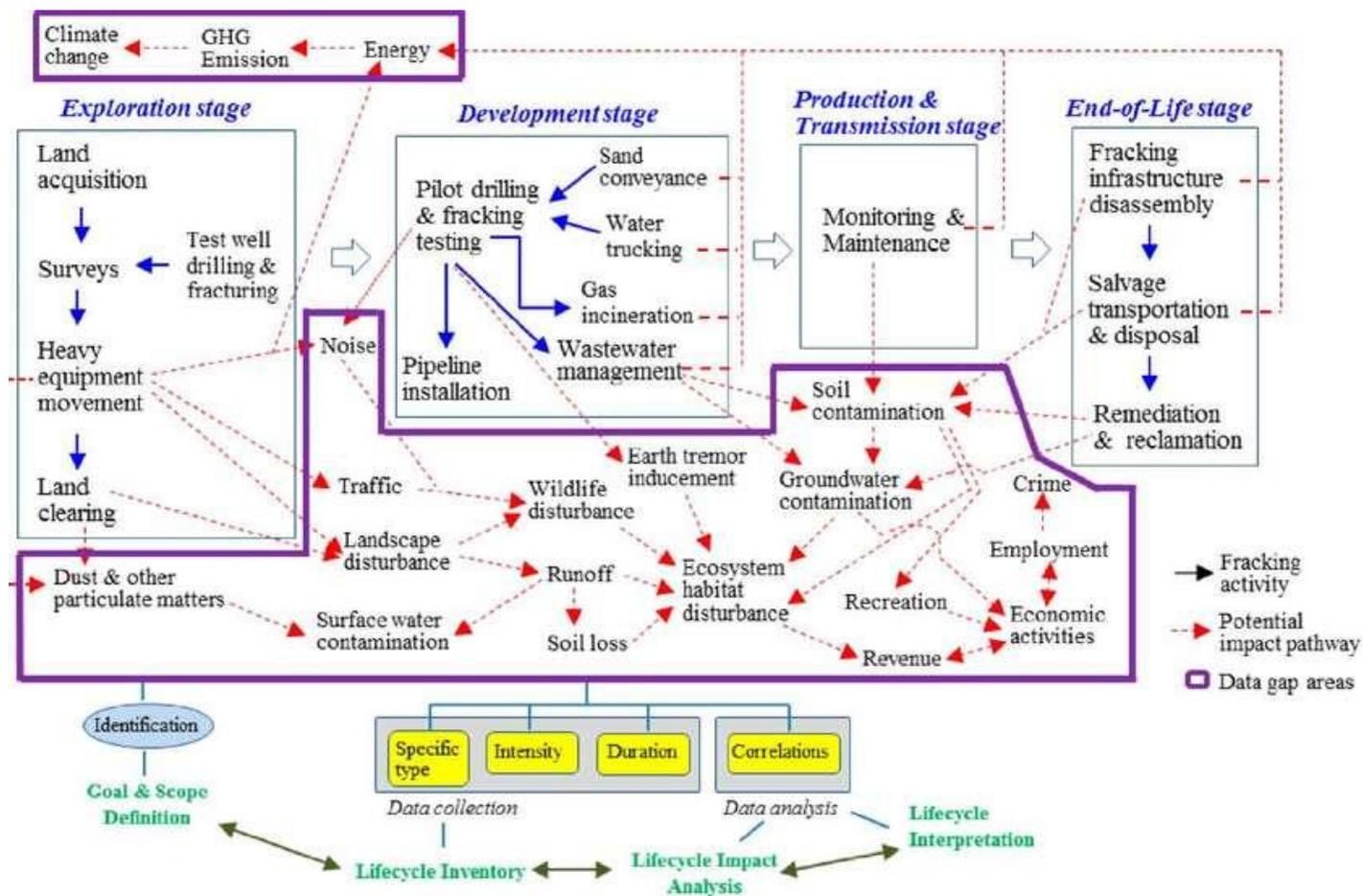


Figura 2.5. Ciclo de vida del proceso de fracturación hidráulica. Dunmade, 2017.

Como se ha visto anteriormente en el apartado 2.2, dentro de las diferentes técnicas de evaluación de la sostenibilidad, existe una graduación que va de las técnicas más cualitativas a las más cuantitativas. Dentro del rango de los métodos de análisis cuantitativo figuran (en la zona inferior del rango) las técnicas de decisión multicriterio, utilizadas ampliamente en diversos campos de toma de decisión relativos a la economía, localización de proyectos, selección de tecnologías etc.

El informe Directorate General for Research-European Commission, 2002, señala las siguientes ventajas y desventajas de aplicar los métodos de decisión multicriterio a la evaluación de la sostenibilidad (tabla 2.1).

Tabla 2.1. Valoración de la aplicación de la Decisión Multicriterio (MCD) a la evaluación de la sostenibilidad (Directorate General for Research-European Commission, 2002).

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Reconoce la multidimensionalidad de la sostenibilidad, y permite para diferentes tipos de datos (cuantitativos y cualitativos), ser comparados y analizados en el mismo marco, bajo diferentes grados de certeza. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Incluye elementos de subjetividad, especialmente en la etapa de ponderación donde el analista debe estimar los “pesos” relativos de los diferentes criterios.
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Es un medio de simplificación de tareas de decisión de procesos complejos que puede implicar a muchos grupos de interés y de decisión, una diversidad de posibles resultados y muchos criterios, a veces intangibles, para la evaluación de los resultados. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Debido a que es una mezcla de diferentes tipos de datos, no siempre muestra si los beneficios superan los costes.
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Presentación transparente de los temas claves en juego. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Las preferencias temporales pueden no estar siempre reflejadas en la decisión multicriterio.

Otros autores, como Ness, et al., 2007 realizan una clasificación de las técnicas de evaluación de la sostenibilidad entre aquellas basadas en indicadores o índices, las relacionadas con un producto y la evaluación integrada, siguiendo una línea temporal en la que las primeras se utilizan con efectos retrospectivos y el tercer grupo con efectos prospectivos. Dentro de este tercer grupo de técnicas se encuentra el Análisis Multicriterio.

Debido a la complejidad de la evaluación de la sostenibilidad y la necesidad de proponer una senda hacia un futuro sostenible, las decisiones tienen que ser tomadas de forma estructurada,

transparente y confiable y las técnicas de Análisis de Decisión Multicriterio (MCDA) pueden contribuir a tal objetivo (Cinelli et al., 2014).

El Análisis de Decisión Multicriterio (MCDA) consiste en un grupo de enfoques que permiten cuantificar explícitamente múltiples criterios, con el fin de apoyar a individuos o grupos en la clasificación, selección y /o comparación de diferentes alternativas (Belton et al., 2002).

Cinelli et al., 2014 relaciona los siguientes métodos de decisión multicriterio:

- **Utilidad Multiatributo (MAUT):** en este método se representa una función de utilidad para cada atributo, posteriormente se agregan a una función multiatributo de forma aditiva o multiplicativa. Este método requiere un elevado nivel de información, por parte del decisor para poder construir la función de utilidad multiatributo.

- **Proceso de Análisis Jerárquico (AHP):** este método consiste básicamente en descomponer un problema en una estructura jerárquica, con al menos 3 niveles básicos (meta u objetivo, criterios y alternativas). Este método se tratará posteriormente en profundidad.

- **Métodos ELECTRE (ELimination Et Choix Traduisant la REalité).** Son métodos basados en la agregación de preferencias, en los que se trabaja con comparaciones por pares de alternativas. Se trata de evaluar si una opción a) es al menos tan buena como otra opción b). (Roy, 1996; Belton et al., 2002). Estos métodos se estructuran en cuatro relaciones binarias elementales: indiferencia, preferencia, preferencia débil e incompatibilidad. (Roy, 1996; Figueira et al., 2013).

- **Los métodos PROMETHEE (Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation)** fueron desarrollados por J.P. Brans y se basan en un grupo de prerrequisitos (Brans et al., 2005). La estructura del método se basa en las comparaciones por pares. En este caso, se considera la desviación entre las evaluaciones de dos alternativas respecto a un criterio determinado. Para pequeñas desviaciones el decisor asignará una ligera preferencia para la mejor alternativa, o incluso no asignará ninguna preferencia si considera que la desviación es insignificante. Cuanto más grande sea la desviación mayor será la preferencia (Brans et al., 2016).

- **Dominance-based Rough Set Approach (DRSA).** Técnica introducida por los grupos de Greco y Slowinski (Greco et al., 1997, 1998, 1999, 2001a, 2001b). DRSA se basa en una tabla de información cuyas filas son las alternativas y las columnas se dividen en atributos de condición, es decir, los criterios que se necesitan para evaluar las alternativas y el atributo de decisión, que representa una evaluación global de la alternativa. Esto puede ser un concepto bien definido o un juicio pericial (Slowinski et al., 2009). Cuando un decisor está involucrado en el proceso se le pide que seleccione una clase a la que pertenece cada alternativa o que compare una alternativa con la otra y decida cuál se desempeña mejor, sin la necesidad de especificar pesos o umbrales (Roy et al., 2013). DRSA aproxima la información reportada con los atributos de decisión considerando el

conocimiento informado en los atributos de condición y decisión en forma de reglas de decisión "si... entonces..." (Greco et al., 2005).

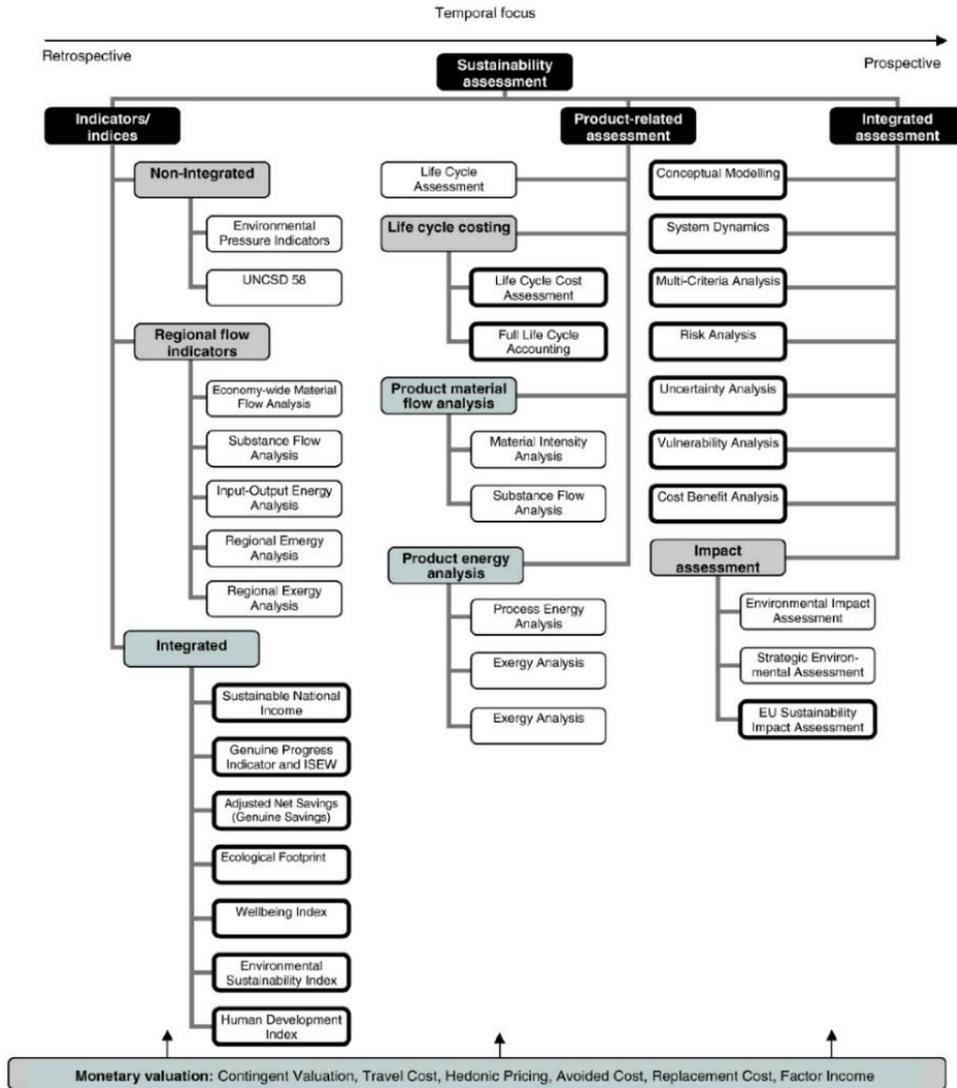


Figura 2.6. Clasificación de las técnicas de evaluación de la sostenibilidad (Ness et al, 2007).

Santoyo et al., 2014 utiliza la técnica multicriterio del Valor Multiatributo, combinada con el análisis del ciclo de vida, para evaluar e identificar las opciones energéticas más sostenibles en Méjico. Consiste en dar un peso relativo a cada criterio de forma que se obtiene un valor global final. En el artículo se evalúan once escenarios hasta 2050 considerando diferentes tecnologías de generación de electricidad.

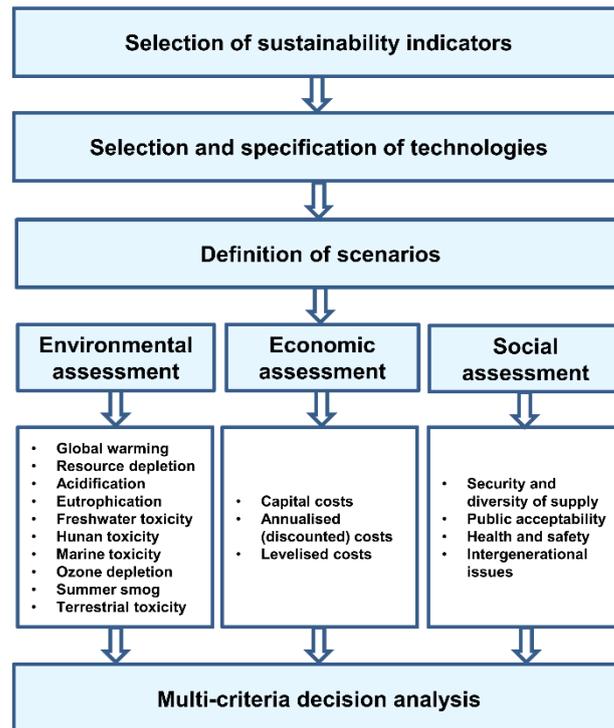


Figura 2.7. Metodología de evaluación de la sostenibilidad de la generación eléctrica en México (Santoyo et al., 2014).

Rösch et al., 2018 plantea un sistema de indicadores de sostenibilidad basado en 45 indicadores con el fin de facilitar la toma de decisión en la determinación de la transición de Alemania hacia la adopción de un sistema energético sostenible.

Cooper et al., 2017 utiliza la técnica SMART (Simple Multi-attribute Rating Technique) en un sistema de decisión multicriterio para evaluar la sostenibilidad del gas de pizarra en el Reino Unido, en comparación con otras opciones de generación eléctrica. El sistema se construye sobre unos criterios cuya importancia es previamente establecida, y una valoración de las opciones entre 0 y 1 (mejor opción). Se comparan las diferentes opciones frente a criterios obteniendo un ranking global. La generación eólica y solar obtienen la mejor posición en el ranking, mientras que el gas de pizarra se sitúa en la 7ª posición de las 9 tecnologías comparadas. El Carbón se sitúa en la última posición.

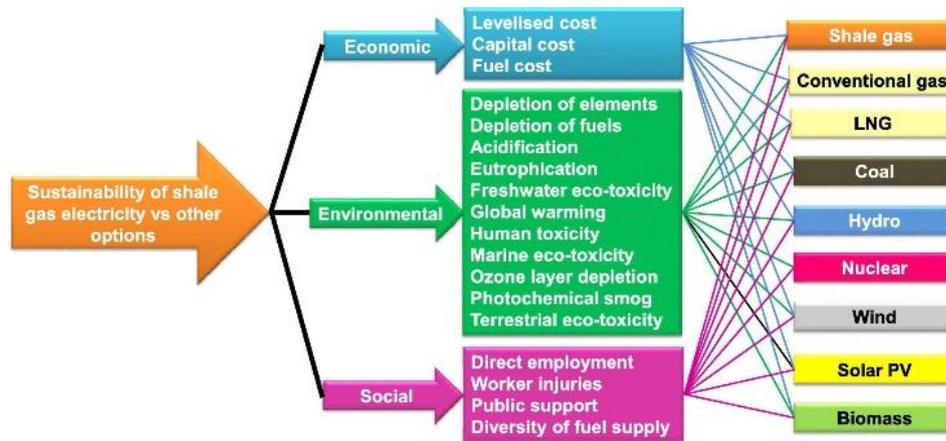


Figura 2.8. Esquema de la decisión multicriterio mediante SMART, Cooper et al., 2017.

Hsueh, 2012 aplica el método Delphi, el Proceso Analítico Jerárquico, la Teoría de la Utilidad y la teoría de la lógica difusa para establecer un modelo de evaluación de conservación de energía para los hogares de Taiwan.

Kumara et al., 2017 evalúa las diferentes técnicas de decisión multicriterio para optimizar las alternativas energéticas de forma independiente y discreta, especialmente en caso de comunidades rurales, teniendo en cuenta que debido a las limitaciones topográficas relativas a los sistemas de energía renovable que son principalmente distribuidos en la naturaleza, la planificación energética se complica. Evalúa modelos de MCDM basados en energía y define varios indicadores que pueden ser utilizados para abordar las principales cuestiones con el fin de lograr los objetivos de desarrollo sostenible de las naciones, especialmente en el ámbito rural.

Mardani et al., 2017 ha realizado un trabajo de recopilación para proporcionar una visión general sobre la aplicación y el uso de las técnicas de decisión multicriterio en relación con los problemas de gestión de la energía. En el trabajo se seleccionaron y revisaron 196 artículos publicados, de 1995 a 2015 en 72 importantes revistas relacionadas con la gestión de la energía. Todos los trabajos publicados fueron categorizados en 13 campos diferentes: evaluación de impacto ambiental, gestión de residuos, evaluación de sostenibilidad, energía renovable, sostenibilidad energética, gestión del suelo, temas sobre gestión verde, gestión de recursos hídricos, cambio climático, evaluación medioambiental estratégica, gestión de la construcción y del medio ambiente y otras áreas de gestión energética. El MCDM híbrido y el MCDM borroso (Fuzzy) son los métodos más usados. En las tablas 2.2 y 2.3 se muestran los resultados de este análisis.

Tabla 2.2. Distribución según los campos de aplicación (Mardani et al., 2017)

Application fields	Number of paper	Percentage (%)
environmental impact assessment	31	15.82%
energy management	21	10.71%
waste management	16	8.16%
sustainability assessment	18	9.18%
renewable energy	12	6.12%
energy sustainability	9	4.59%
land management	8	4.08%
green management topics	12	6.12%
water resources management	10	5.10%
climate change	10	5.10%
strategic environmental assessment	7	3.57%
construction and environmental management	21	10.71%
other environmental areas	21	10.71%
Total	196	100.00%

Tabla 2.3. Utilización de métodos de toma de decisión (Mardani et al., 2017)

DM techniques	Frequency of application	Percentage %
Hybrid MCDM and FMCDM	55	28.06%
AHP and Fuzzy AHP	49	25.00%
TOPSIS Fuzzy TOPSIS	10	5.10%
ANP and Fuzzy ANP	9	4.59%
PROMETHEE and Fuzzy PROMETHEE	10	5.10%
VIKOR and Fuzzy VIKOR	5	2.55%
ELECTRE and Fuzzy ELECTRE	9	4.59%
MCDA and MCA	25	12.76%
Other	24	12.24%
Total	196	100.00%

Pislaru et al., 2011 desarrolló un modelo borroso (Fuzzy), que utiliza datos muestreados de diferentes indicadores ambientales que luego fueron procesados a través de algoritmos de lógica difusa para derivar medidas para la sostenibilidad ecológica de la ciudad de Iasi en el Norte de Rumanía. La lógica difusa (Fuzzy) es capaz de representar datos inciertos y manejar situaciones vagas donde las matemáticas tradicionales son ineficaces. El modelo difuso utiliza indicadores básicos de integridad ambiental, como entradas y emplea razonamientos de lógica difusa para proporcionar medidas de sostenibilidad a nivel local.

Aragonés Beltrán et al., 2010 aplica el Proceso Analítico en Red (ANP) a la selección de proyectos de energía solar fotovoltaica. Estos proyectos siguen un largo proceso de gestión y ejecución desde la selección del sitio de la planta hasta su puesta en marcha. Como consecuencia, hay muchos riesgos de retrasos en el tiempo, e incluso de la paralización del proyecto. En el caso de estudio presentado en este trabajo un alto directivo de una importante empresa española que opera en el mercado de la energía tiene que decidir sobre el mejor proyecto fotovoltaico (de cuatro proyectos alternativos) para invertir en base a la minimización de riesgos.

Xu et al., 2015 aplica la técnica ANP para la modernización de la eficiencia energética de la construcción en edificios de alto consumo de energía, estudiando la interrelación entre los diferentes

factores del proyecto como son: el control de proyectos, tecnología disponible, capacidad de organización del líder de equipo, confianza, seguimiento y verificación precisa (M&V), y habilidades técnicas de los trabajadores del equipo.

Ren et al., 2015 aplica la metodología multicriterio Fuzzy-AHP para la selección de la tecnología de reducción de emisiones en los barcos. Se utilizan nueve criterios en cuatro aspectos, incluyendo la tecnología (madurez), economía (costo de capital y costo de operación), medio ambiente (efectos de la reducción de SO_x, NO_x, GEI y PM), y aspectos político-sociales (apoyo gubernamental y aceptabilidad social).

Lo métodos de decisión multicriterio (MCDM) híbridos involucran cuatro grupos de métodos de toma de decisiones o sus combinaciones con otros métodos. La figura 2.9 describe cómo se pueden combinar los métodos MCDM con otros métodos para calcular la importancia relativa de los criterios, así como con los conjuntos borrosos o los números grises (Kazimieras et al., 2016). El autor concluye que los métodos de decisión multicriterio son útiles para apoyar los procesos de evaluación y selección y para mejorar la sostenibilidad de industrias y organizaciones. El responsable de la toma de decisiones puede confiar más en los resultados cuando se aplica un método híbrido, especialmente en los casos en los que se incrementa la variedad y la complejidad de la información y se enfrenta a problemas desafiantes.

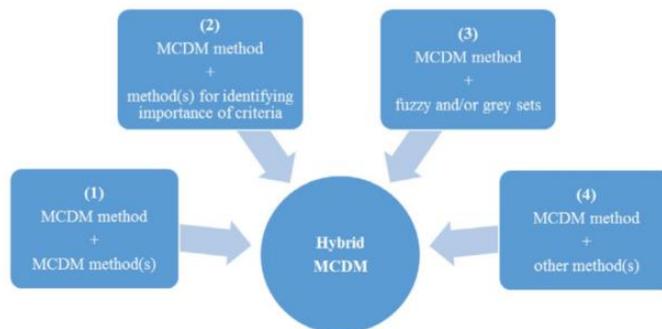


Figura 2.9. Composición de los métodos de decisión multicriterio híbridos (Kazimieras et al., 2016).

El Proceso Analítico Jerárquico (AHP) es un método de decisión multicriterio ampliamente utilizado en diversos campos. Permite la toma de decisiones mediante la descomposición de un problema complejo en múltiples componentes estableciendo una estructura jerárquica. El método AHP utiliza nueve niveles (1-9) y sus recíprocos para comparar los factores por pares, y establecer una matriz de comparación, determinando posteriormente la importancia relativa de dichos factores.

La metodología del "Proceso Analítico en Red", ANP (Analytic Network Process), fue desarrollada por Thomas L. Saaty (Saaty, 1996, 2001) como una generalización del Proceso Analítico Jerárquico (AHP), en el que a diferencia de éste, en el que las relaciones entre los elementos son de abajo arriba y de arriba abajo, en ANP se pueden incluir relaciones de interdependencia y realimentación entre elementos del sistema.

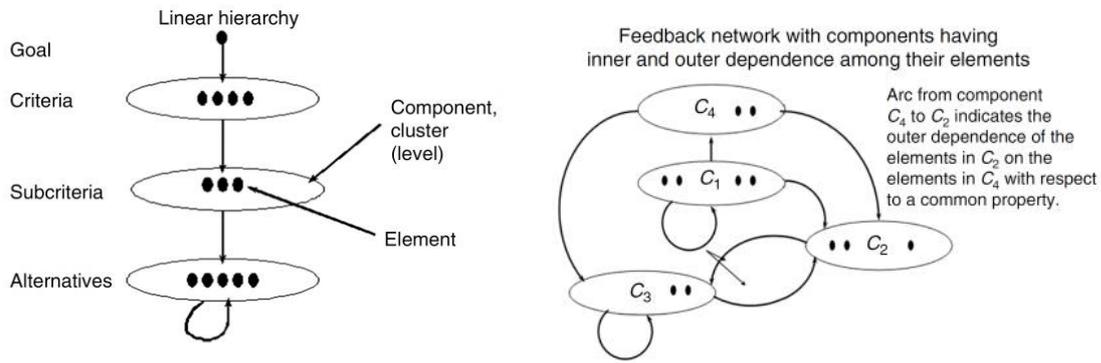


Figura 2.10. Diferencia estructural entre AHP (jerarquía lineal) y ANP (jerarquía en red). (Saaty, 2013)

Según Luo et al., 2010 el método ANP utiliza una red sin necesidad de especificar niveles, a diferencia del método AHP. Generalmente el sistema se divide en dos partes: el nivel de control y el nivel de red. El nivel de control incluye el objetivo del análisis y los criterios de decisión. En nivel de red está formado por los elementos controlados por el nivel de control. Los elementos interactúan entre sí y forman una estructura en red. Ver figura 2.11.

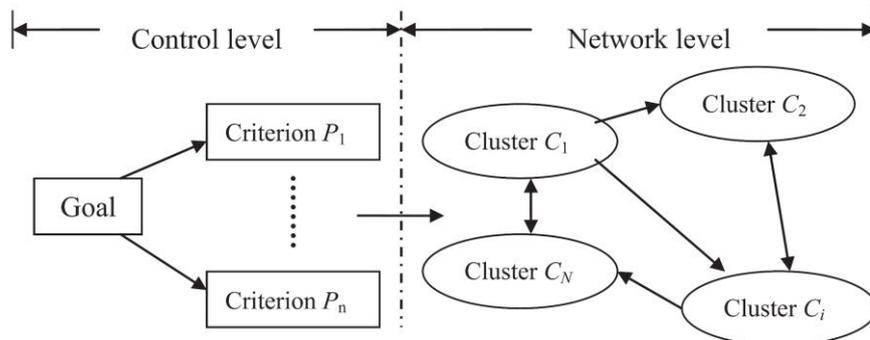


Figura 2.11. Estructura del Proceso Analítico Jerárquico (ANP) según Luo et al., 2010

Se describen a continuación las etapas del método ANP en su concepción más general y compleja, en la que se busca determinar la mejor alternativa en base a criterios de beneficio, oportunidad, costes y riesgo (BOCR) (Saaty, 2016):

- 1- Descripción del problema de toma de decisión incluyendo sus objetivos, criterios, subcriterios. Detallar las influencias que determinan la toma de decisión. Ejemplo de criterios de control: beneficios, oportunidades, costes y riesgos.
- 2- Determinación de los criterios y subcriterios de control en las cuatro jerarquías de control: beneficios, oportunidades, costes y riesgos de la toma de decisión. En algunos casos, las

- comparaciones se hacen simplemente en términos de beneficios, oportunidades, costes y riesgos de forma agregada, sin utilizar criterios y subcriterios de control.
- 3- Determinación de la red general de clústeres (o componentes) y sus elementos que se aplican a todos los criterios de control.
 - 4- Para cada criterio o subcriterio de control, determinación de los clústeres y sus elementos y su conexión de conformidad con sus influencias de dependencia internas y externas. Se dibuja una flecha desde un clúster a cualquier clúster cuyos elementos influyen en él.
 - 5- Para cada criterio de control se construirá la supermatriz colocando los clústeres y sus elementos verticalmente a la izquierda y horizontalmente en la parte superior de la matriz. Se introducirán las prioridades derivadas de las comparaciones por pares como subcolumnas de la correspondiente columna de la supermatriz.
 - 6- Se realizarán las comparaciones por pares de los elementos dentro de cada clúster, de acuerdo con su influencia (dependencia interna), o con elementos de otro clúster (dependencia externa). Las comparaciones de los elementos se hacen por pares juzgando cuál de los dos elementos influyen más o es más influenciado (hay que seguir siempre el mismo esquema, ver "Dos formas de realizar los juicios") en el criterio o subcriterio de control.
 - 7- Se realizarán las comparaciones por pares de los clústeres como influencia de cada clúster con el que está conectado, con respecto a un criterio de control. Los pesos que se derivan se usan para ponderar los elementos correspondientes a los bloques de columna de la supermatriz. Se asigna un cero en los casos en los que no hay influencia. De esta forma se obtiene la supermatriz ponderada estocástica (una vez normalizada).

(nótese que es necesario realizar esta ponderación ya que el elemento prioritario en un clúster no tiene por qué ser el prioritario en relación con el resto de los clústeres, de hecho, cada clúster tiene un elemento prioritario. Por ello, se requiere comparar los clústeres entre sí de acuerdo a un criterio de control de nivel superior, obteniendo la supermatriz ponderada, Saaty, 2006).
 - 8- Se calcularán las prioridades límite de la supermatriz estocástica (elevando sucesivamente la matriz $-n-$ veces), obteniendo una matriz con todas las columnas iguales, cada una de las cuales representa las prioridades relativas de los elementos (considerando que la matriz converge).
 - 9- Se multiplicará el vector prioridad límite por el peso de su criterio de control, sumando posteriormente los vectores resultantes para cada uno de los cuatro méritos: Beneficio (B), Oportunidad (O), Coste (C) y Riesgo (R). Se obtienen cuatro vectores uno por cada mérito. La alternativa con el ratio más grande BO/CR es la seleccionada.
 - 10- Se realizará un análisis de sensibilidad del resultado, determinando la estabilidad del mismo.

En la imagen 2.12 se muestra un ejemplo de aplicación del método ANP a la toma de decisión en la compra de un automóvil, en el que el objetivo (goal) es comprar el mejor. Los criterios de control son: beneficios, costes y riesgos. Cada uno de estos criterios de control tiene una subred ANP con dos clústeres, uno de los cuales es siempre el clúster alternativas.

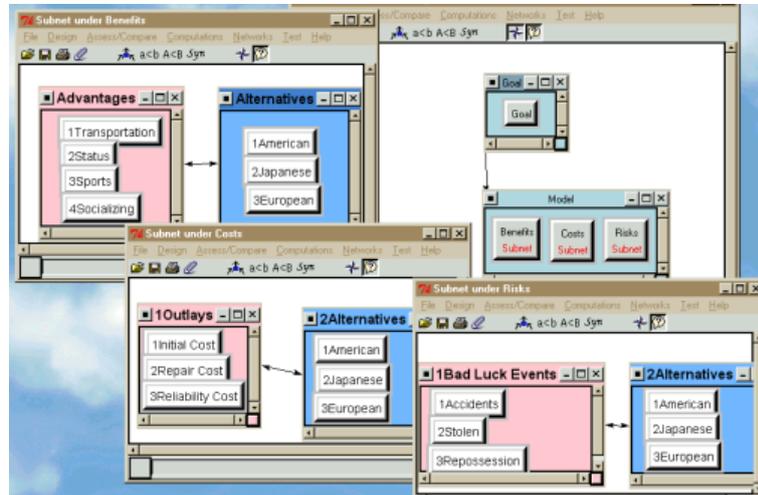


Figura 2.12. Ejemplo modelo ANP complejo (BOCR) para la decisión de la compra de un automóvil. Saaty, 2016

Significado de la supermatriz límite.

La supermatriz representa las prioridades de influencias de un elemento de la columna izquierda de la matriz sobre el elemento de la fila superior de la matriz, con respecto a un determinado criterio de control. Se necesita la construcción de la supermatriz para sintetizar todas las prioridades derivadas de las matrices de juicios por pares (Saaty, 2013).

Se requiere elevar a la potencia $-n-$ la supermatriz para capturar las influencias a través de todos los posibles caminos de la supermatriz. Las celdas de la matriz ponderada reflejan la influencia directa de un elemento sobre otro, pero un elemento puede influir en un segundo elemento de forma indirecta a través de su influencia sobre un tercero, que a su vez influye sobre el segundo. Estas influencias indirectas a través de un tercer elemento se obtienen elevando al cuadrado la supermatriz. De igual forma, la influencia de un elemento sobre otro puede tener lugar considerando un tercer elemento que influye sobre un cuarto elemento que influye sobre el segundo. Estas influencias se obtienen elevando al cubo la supermatriz. Así, tenemos una infinita secuencia de matrices de influencia: la supermatriz, la cuadrada, la cúbica, etc. (Saaty, 2006).

Si se toma el límite del promedio de la secuencia de N potencias de la supermatriz (conocido como suma Cesaro), su resultado representa las prioridades que se desean obtener:

$$\lim_{k \rightarrow \infty} \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N W^k$$

Si una secuencia converge en un límite, entonces la suma Cesaro converge en el mismo límite. Se pueden dar dos casos: que la matriz converja al elevar a N potencia, entonces esa matriz representará las prioridades de los elementos, o bien que no converja debiendo obtener las prioridades a través de la suma Cesaro (Saaty, 2006).

Metodología ANP aplicada a la evaluación de la sostenibilidad de la fracturación hidráulica.

En la presente tesis, el sistema es más simple (ver figura 2.13) en comparación con el esquema general descrito anteriormente:

- El objetivo es obtener el ranking de prioridad de los criterios de la sostenibilidad en la fracturación hidráulica.
- No se usan criterios de control, sino que los elementos incluidos en los clústeres (factores de la sostenibilidad) se comparan entre sí en términos de influencia global (se puede considerar que se está evaluando en términos de beneficio, coste, oportunidad y riesgo, de forma agregada).
- No existe un clúster de alternativas.
- Se configuran 4 clústeres donde se engloban los diferentes elementos o factores de la sostenibilidad en la fracturación hidráulica: ambiental, económico, socio-político y tecnológico.

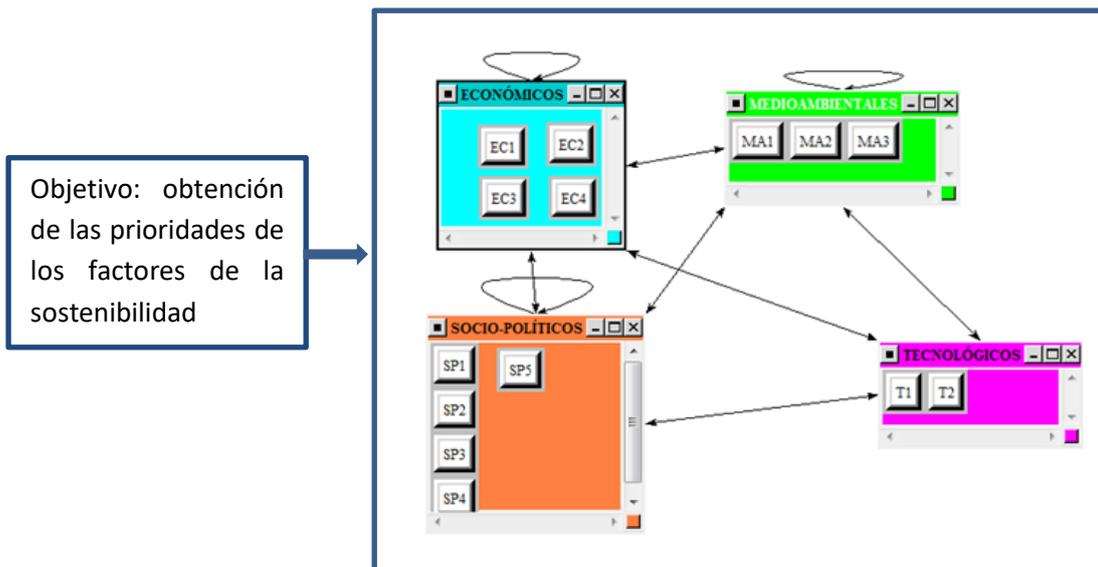


Figura 2.13. Esquema del problema de priorización de criterios de sostenibilidad en la fracturación hidráulica, mediante ANP-Fuzzy.

Según Ren et al., 2015, que aplicó la metodología ANP-Fuzzy a la priorización de las barreras para el desarrollo de la fracturación hidráulica en China, el problema de priorización mediante ANP consta de cuatro etapas:

Etapla 1: Determinación de la estructura en red del problema de decisión multicriterio, definiendo las relaciones entre criterios y/o alternativas. Los diferentes criterios se pueden agrupar en clústeres que agrupen criterios similares, pudiendo establecerse relaciones entre criterios dentro de un clúster o de criterios pertenecientes a clústeres diferentes.

Etapla 2: Determinación de la matriz original (no ponderada), mediante la definición de matrices de comparación de criterios por pares, para lo que se utilizará la escala de Saaty (del 1 al 9), en el que "1" significa que dos criterios tienen igual importancia frente a un tercero, y "9" significa que un criterio tiene una importancia absoluta. Para la comparación de los criterios de forma inversa, se utilizan los recíprocos, ej. 1/9.

Etapla 3: Determinación de la matriz ponderada. Se establecen los efectos relativos de un clúster sobre otro clúster, determinando sus pesos relativos utilizando la escala de Saaty. Ponderando la matriz original establecida en el paso anterior por los pesos relativos de los clusters y normalizando de forma que los elementos de cada columna sumen la unidad, se obtiene la matriz ponderada (se obtiene una matriz estocástica, de forma que las prioridades límite pueden ser calculadas en términos que dependen de los conceptos de reductibilidad, primitividad y ciclicidad de la matriz, Saaty, 2006).

Etapla 4: Determinación de la supermatriz límite que representa los pesos finales de los diferentes criterios. La supermatriz límite se puede calcular elevando la matriz ponderada a la potencia $2k+1$, donde k es un número lo suficientemente grande para permitir que la matriz converja (que todas las columnas sean iguales). Los valores de la columna obtenida representan los pesos finales de los criterios seleccionados.

Como se puede comprobar, el esquema general visto anteriormente planteado por Saaty, 2016 resulta simplificado en un problema de priorización, respecto a un problema de selección de alternativas en base a criterios de beneficio, oportunidad, coste y riesgo.

Método híbrido: ANP combinado con Fuzzy.

La escala de Saaty (1-9), para medir la importancia relativa en la comparación de los diferentes criterios (etapas 2 y 3 descritas anteriormente). La utilización de esta escala no se adecúa a la vaguedad y subjetividad de los juicios humanos. Los números Fuzzy se adaptan mejor a la realización de estas comparaciones por lo que van a ser utilizados en combinación con la metodología ANP en este trabajo.

Los conjuntos clásicos son una colección de elementos que cumplen una condición nítida. Dado un subconjunto clásico A de X , se le puede asociar su función característica:

$$\varphi A: X \rightarrow \{0,1\}, \text{ dada por } \varphi A(x) = \{1, \text{ si } x \text{ pertenece a } A \quad 0, \text{ si } x \text{ no pertenece a } A\}$$

es decir, $\varphi A(x) = 1$ si el grado en que x pertenece a A es 1 y $\varphi A(x) = 0$, si el grado en que x pertenece a A es 0.

Los conjuntos borrosos son aquéllos cuyos elementos no tienen por qué pertenecer (grado de pertenencia 1) o no pertenecer (grado de pertenencia 0), sino que pertenecen según un cierto grado entre 0 y 1.

La función de pertenencia de un conjunto nos indica el grado en que cada elemento de un universo dado, pertenece a dicho conjunto. Es decir, la función de pertenencia de un conjunto A sobre un universo X será de la forma: $\mu_A: X \rightarrow [0,1]$, donde $\mu_A(x) = r$ si r es el grado en que x pertenece a A .

Si el conjunto es nítido, su función de pertenencia (función característica) tomará los valores en $\{0,1\}$, mientras que si es borroso, los tomará en el intervalo $[0,1]$. Si $\mu_A(x) = 0$ el elemento no pertenece al conjunto, si $\mu_A(x) = 1$ el elemento sí pertenece totalmente al conjunto.

Las funciones de pertenencia son una forma de representar gráficamente un conjunto borroso sobre un universo.

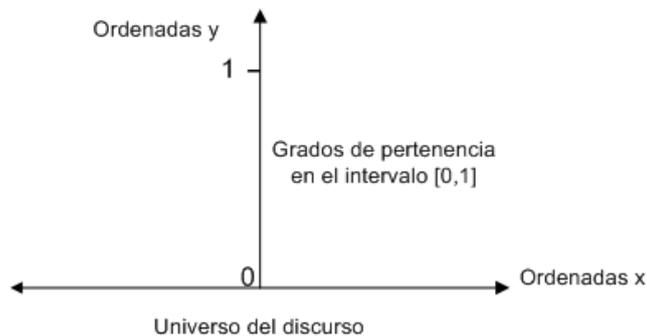


Figura 2.14. Representación de las funciones de pertenencia. (Recuperado de web¹, 20/10/2015)

La función característica del conjunto de los elementos que verifican un predicado clásico está perfectamente determinada. No ocurre lo mismo cuando se intenta obtener la función de pertenencia de un conjunto formado por los elementos que verifican un predicado borroso. Dicha función dependerá del contexto (o universo) en el que se trabaje, del experto, del usuario, de la aplicación a construir, etc.

A la hora de determinar una función de pertenencia, normalmente se eligen funciones sencillas, para que los cálculos no sean complicados. En particular, en aplicaciones en distintos entornos, son muy utilizadas las triangulares y las trapezoidales. En la presente tesis, se van a utilizar las funciones triangulares.

¹ http://www.dma.fi.upm.es/recursos/aplicaciones/logica_borrosa/web/tutorial_fuzzy/contenido3.html

El número Fuzzy triangular viene definido por su función de pertenencia, en este caso, determinada por los parámetros (l, m, u) . Los parámetros l , m y u determinan, respectivamente, el valor posible más pequeño, el valor más probable, y el mayor valor posible que describe un evento Fuzzy.

Su función de pertenencia queda definida por la siguiente ecuación (Zhou,2012):

$$\mu_A(x) = \begin{cases} (x-l) / (m-l) & l \leq x \leq m \\ (u-x) / (u-m) & m \leq x \leq u \\ 0 & \text{en el resto de los casos} \end{cases}$$

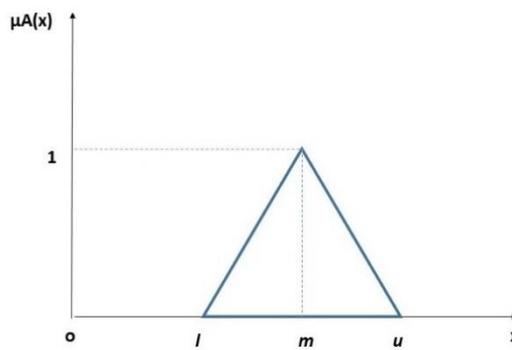


Figura 2.15. Número Fuzzy A (Zhou, 2012).

Cabe señalar que en Fuzzy el triángulo no tiene por qué ser necesariamente simétrico.

En la determinación de las matrices de comparación por pares (etapa 2 según Ren et al., 2015), se va a utilizar una escala de números Fuzzy triangulares en vez de la escala Saaty tradicional, de forma que el valor "m" se corresponda con el número de la escala Saaty equivalente, y "l", "m" sean equidistantes respecto a "m". Se utilizarán así las equivalencias mostradas en la tabla 2.4.

Tabla 2.4. Equivalencias escalas Saaty-Fuzzy (adaptado de Ren et al., 2015).

Escala Saaty	Escala Fuzzy
1	(2/3,1,3/2)
3	(1,3,5)
5	(3,5,7)
7	(5,7,9)
9	(7,9,11)

Determinación de la Matriz no Ponderada.

Para la determinación de la matriz original o matriz no ponderada (etapa 2) se tienen que establecer comparaciones por pares entre los diferentes elementos relacionados entre sí.

Los primeros pasos son, según Ren et al., 2015:

- a) Establecer las matrices de comparación por pares usando términos lingüísticos.
- b) Transformar los términos lingüísticos en números Fuzzy triangulares.

Tabla 2.5. Términos lingüísticos y números Fuzzy (adaptada de Ren et al., 2015).

Escala Lingüística	Abreviatura	Escala Fuzzy
Igualmente importante (Equally important)	EQ	(2/3,1,3/2)
Importancia leve (Weakly important)	WE	(1,3,5)
Esencialmente importante (Essentially important)	ES	(3,5,7)
Importancia muy fuerte (Very strong important)	VS	(5,7,9)
Importancia absoluta (Absolutely important)	AB	(7,9,11)
Recíprocos de los anteriores	REQ, RWE, RES, RVS, RAB	Recíprocos

Una vez obtenidas las matrices de comparación con números Fuzzy, existen diferentes métodos para computar estas matrices, estableciendo prioridades de las matrices de comparación Fuzzy, obteniendo así la matriz original no ponderada. Así Chang, 1996 propuso un "método de análisis de extensión", del que se derivan pesos concretos (crisp) para las matrices de comparación Fuzzy.

Mikhailov 2003, 2004, desarrolló el "Método de Programación de Preferencias" (Fuzzy Preference Programming, FPP), mediante el cual se obtienen pesos concretos (crisp weights) a partir de las matrices Fuzzy de comparación. Es el método que se va a utilizar en este estudio, ya que es fácilmente programable en Matlab, y permite obtener fácilmente los índices de consistencia de las matrices fuzzy de comparación por pares.

Se describe a continuación el método de programación de preferencias desarrollado por Mikhailov:

Se considera un problema de priorización con n elementos, donde los juicios de comparación por pares se representan por conjuntos de números Fuzzy Suponiendo que el decisor puede suministrar un conjunto $F=\{\tilde{a}_{ij}\}$ de $m \leq n(n-1)/2$ juicios de comparación por pares, $i=1,2, \dots, n-1$; $j=2,3, \dots, n$; $j>i$, representados por números fuzzy triangulares $\tilde{a}_{ij}=(l_{ij}, m_{ij}, u_{ij})$. El problema es

obtener un vector de prioridad crisp $\omega = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n)^T$, tal que los ratios de prioridad ω_i/ω_j se encuentren aproximadamente entre los márgenes de los juicios fuzzy iniciales, o

$$l_{ij} \leq \frac{\omega_i}{\omega_j} \leq u_{ij} \quad (1)$$

Donde el símbolo \leq se refiere a "Fuzzy menor a igual a".

Cada vector de prioridad crisp ω satisface la desigualdad de doble sentido (1), en algún grado, que puede ser medido mediante la función de pertenencia, lineal con respecto al ratio desconocido $\frac{\omega_i}{\omega_j}$.

$$u_{ij} \left(\frac{\omega_i}{\omega_j} \right) = \begin{cases} \frac{\left(\frac{\omega_i}{\omega_j}\right) - l_{ij}}{m_{ij} - l_{ij}}, \frac{\omega_i}{\omega_j} \leq m_{ij} \\ \frac{u_{ij} - \left(\frac{\omega_i}{\omega_j}\right)}{u_{ij} - m_{ij}}, \frac{\omega_i}{\omega_j} \geq m_{ij} \end{cases} \quad (2)$$

La función de pertenencia (2) es creciente linealmente en el intervalo $(-\infty, m_{ij})$, y linealmente decreciente en el intervalo (m_{ij}, ∞) . La función toma valores negativos cuando $\frac{\omega_i}{\omega_j} < l_{ij}$ o $\frac{\omega_i}{\omega_j} > u_{ij}$, y tiene un valor máximo $u_{ij} = 1$ para $\frac{\omega_i}{\omega_j} = m_{ij}$. En el rango (l_{ij}, u_{ij}) , la función de pertenencia (2) coincide con el juicio Fuzzy triangular (l_{ij}, m_{ij}, u_{ij}) .

La solución al problema de priorización mediante el método de programación de preferencias Fuzzy se basa en dos suposiciones principales. La primera requiere de la existencia de un área Fuzzy P factible no vacía en el simplex Q^{n-1} , de dimensión $(n-1)$.

$$Q^{n-1} = \left\{ (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n) \mid \omega_i > 0, \sum_{i=1}^n \omega_i = 1 \right\} \quad (3)$$

Definida como una intersección de funciones de pertenencia, similar a (2) y el hiperplano simplex (3), la función de pertenencia del área fuzzy factible viene dada por

$$U_p(\omega) = \min_{ij} \{ u_{ij}(\omega) \mid i=1,2,\dots,n-1; j=2,3,\dots,n; j>i \} \quad (4)$$

Si los juicios Fuzzy son muy inconsistentes, entonces $U_p(\omega)$ podría tomar valores negativos para todos los vectores de prioridad normalizados $\omega \in Q^{n-1}$.

La segunda suposición del método de programación de preferencias especifica una regla de selección, que determina un vector de prioridad, tomando el mayor grado de pertenencia en la función de pertenencia agregada (4). Se puede fácilmente probar que $U_p(\omega)$ es un conjunto convexo, así que siempre hay un vector de prioridad $\omega^* \in Q^{n-1}$ que tiene un máximo grado de pertenencia

$$\lambda^* = U_p(\omega^*) = \max_{\omega \in Q^{n-1}} \min_{ij} \{u_{ij}(\omega)\}. \quad (5)$$

El problema de priorización máxima (5) puede representarse de la siguiente forma:

$$\text{Max } \lambda$$

$$\begin{aligned} \lambda &\leq u_{ij}(\omega), \quad i=1,2,\dots,n-1; j=2,3,\dots,n; j>i, \\ \sum_{k=1}^n \omega_k &= 1 \quad \omega_k > 0, \quad k=1,2,\dots,n. \end{aligned} \quad (6)$$

Considerando la forma específica de las funciones de pertenencia (2), el problema (6) puede ser transformado en un programa bilineal del tipo:

$$\text{Max } \lambda$$

$$\begin{aligned} (m_{ij}-l_{ij}) \lambda \omega_j - \omega_i + l_{ij} \omega_j &\leq 0, \\ (u_{ij}-m_{ij}) \lambda \omega_j + \omega_i - u_{ij} \omega_j &\leq 0, \\ \sum_{k=1}^n \omega_k &= 1, \quad \omega_k > 0, \quad k=1,2,\dots,n \\ i &= 1,2,\dots,n-1; j=2,3,\dots,n; j>i. \end{aligned} \quad (7)$$

La solución óptima al problema no lineal anterior (ω^*, λ^*) se podría obtener empleando un método numérico apropiado para optimización no lineal. El valor óptimo λ^* , si es positivo (el valor máximo es la unidad), indica que todos los ratios solución satisfacen el juicio Fuzzy completamente, lo que significa que los juicios Fuzzy iniciales son bastante más consistentes. Un valor negativo de λ^* indica que las ratios solución satisfacen aproximadamente todas las desigualdades de doble sentido (1). Por eso, el valor óptimo λ^* puede ser usado para medir la consistencia del conjunto inicial de juicios Fuzzy.

En el Anexo I se detalla la programación en Matlab del método desarrollado por Mikhailov.

Dos formas de realizar los juicios.

Cuando se hacen las comparaciones por pares en un modelo ANP, las preguntas pueden formularse en términos de dominación o influencia. Dado un nodo primario sobre el que se comparan otros dos nodos con respecto al primario, debemos formular la pregunta: ¿cuál de los dos nodos tiene mayor influencia (o es más dominante) sobre el nodo primario?, o bien ¿cuál es más influenciado respecto al nodo primario? (Saaty, 2016). No se debe cambiar la perspectiva de las preguntas, manteniendo en todo el modelo el mismo esquema de pregunta en la comparación por pares. Se debe mantener en mente en todo el modelo, si la influencia fluye del nodo primario hacia los elementos que se comparan o en sentido contrario, manteniendo siempre el mismo criterio .

En el presente trabajo se va a trabajar con la influencia fluyendo hacia el nodo primario.

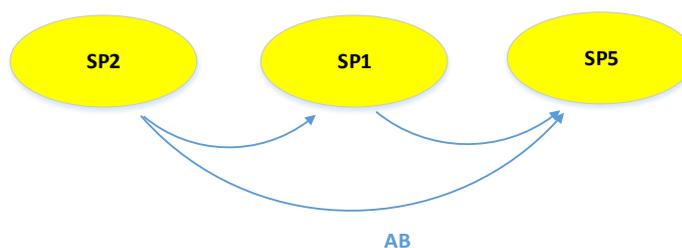
Método de mejora de la consistencia de los juicios.

En la determinación de la matriz original no ponderada, ya sea cuando se comparan criterios dentro de un clúster o bien entre clústeres diferentes, es necesario establecer un método que facilite la elaboración de dichos juicios, de forma que el resultado sea consistente (valor óptimo λ^* positivo, y tan próximo a la unidad como sea posible). El siguiente método, desarrollado por el autor, consta de las siguientes fases que se van a describir sobre el caso práctico de comparación de los diferentes factores socio-políticos frente al factor socio-político SP3 (percepción social):

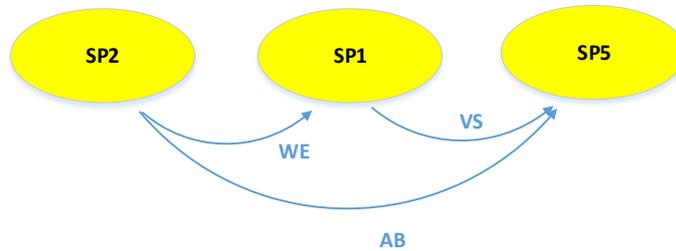
1. Colocación de los diferentes factores sociales según el orden de importancia de su influencia sobre SP3 (de mayor influencia a menor). Si varios factores sociales (2 ó más) tienen la misma influencia se colocarían en la misma columna uno debajo de otro.

SP2 SP1 SP5

2. Trazado de conexiones (mediante flechas) entre el primero de los factores con el resto. Estas flechas representan la interrelación entre dichos factores. Se comienza definiendo como es la influencia de SP2 en relación con SP5, es decir primero se establecen las relaciones de importancia de las flechas de mayor longitud. En este caso SP2 tiene una importancia absoluta (AB) respecto a SP5 en su influencia sobre SP3.



3. Se establecen el resto de las comparaciones, teniendo en cuenta que deberán calificarse con una importancia menor que la establecida para la flecha de mayor longitud. En este caso, las dos flechas de menor longitud representarán importancia muy fuerte (VS) e importancia leve (WE).



4. Al determinar mediante el Método de Programación de Preferencias de Mikhailov los pesos concretos (crips weights) a partir de las matrices Fuzzy de comparación, obtengo a su vez el valor λ^* representativo de la consistencia de los juicios, el cual si es negativo implica que hay que revisar de nuevo los juicios establecidos, generalmente variando la calificación de la importancia en algún nodo intermedio (paso 3). Cabe señalar que los índices de consistencia positivos serán más próximos a la unidad cuando estemos comparando pocos factores, y disminuirá su valor (entre 0 y 1) a medida que las matrices de comparación son de orden mayor, lo que implica la dificultad de realización de juicios perfectamente consistentes.

Factores de la sostenibilidad de la fracturación hidráulica en España.

La etapa 2 de la metodología ANP (Ren et al., 2015) consiste en comparar la importancia entre los diferentes factores que afectan a la sostenibilidad de la fracturación hidráulica en España. Con el fin de simplificar y reducir el número de comparaciones o juicios, se han agrupado en subgrupos dentro de cada grupo genérico los indicadores de sostenibilidad seleccionados para el caso español.

Se seleccionan los siguientes cuatro clústeres, utilizando la terminología ANP:

- Factores Ambientales.
- Factores Económicos.
- Factores Socio-Políticos.
- Factores Tecnológicos.

Dentro de cada clúster (apartados homogéneos) se agrupan cada uno de los factores de sostenibilidad.

Tabla 2.6. Factores de sostenibilidad seleccionados

FACTORES AMBIENTALES	FACTORES ECONÓMICOS	FACTORES SOCIO-POLÍTICOS	FACTORES TECNOLÓGICOS
<p>MA1-CARGAS AMBIENTALES</p> <ul style="list-style-type: none"> • Agua. • Aire. • Residuos/suelo degradado. <p>MA2-USO DE RECURSOS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Materiales. • Agua. • Energía. <p>MA3-OTROS IMPACTOS SOBRE EL AMBIENTE</p> <ul style="list-style-type: none"> • Riesgos: accidentes y sismicidad. • Impacto visual y ruido. 	<p>EC1- RENTABILIDAD</p> <ul style="list-style-type: none"> • Costes de inversión. • Costes de operación. • Ingresos. • Impuestos. <p>EC2- PRECIO DEL GAS</p> <p>EC3- IMPACTO EN EL PIB.</p> <p>EC4- AFECCIÓN A OTROS SECTORES</p>	<p>SP1- CREACIÓN DE EMPLEO.</p> <p>SP2- AFECCIÓN A LA SALUD.</p> <p>SP3- PERCEPCIÓN SOCIAL.</p> <p>SP4- FALTA DE REGULACIÓN.</p> <p>SP5- PÉRDIDA O GANANCIA PATRIMONIAL.</p>	<p>T-1 EXPERIENCIA, DEPENDENCIA TECNOLÓGICA, INFRAESTRUCTURAS.</p> <p>T2- CONDICIONES GEOLÓGICAS-RESERVAS.</p>

Se establecen diversas interrelaciones entre los diferentes factores dentro de cada clúster, y de factores pertenecientes a un clúster con otros pertenecientes a otro clúster diferente.

Se puede establecer una matriz de interrelaciones entre los diferentes factores, representando con el valor "1" el cruce de filas y columnas de aquellos factores relacionados, y con "0" aquellos que no tienen una relación directa (no obstante, puede existir entre ellos una relación indirecta. Este aspecto, se aborda a la hora de determinar la supermatriz límite).

Inventario de la información sobre los impactos de la fracturación hidráulica.

Para la realización de los juicios de comparación por pares de la metodología ANP-Fuzzy se deben estudiar previamente los diferentes factores de la sostenibilidad de la fracturación hidráulica.

Los juicios del procedimiento ANP-Fuzzy desarrollados en los apartados 2.4, 2.5 y en el Anexo I deben estar fundamentados. Para ello, se ha desarrollado un trabajo de recopilación, síntesis y aplicación al caso español de la información ambiental, económica, socio-política y tecnológica de la fracturación hidráulica, con el fin de que dichos juicios se correspondan con el estado actual del conocimiento sobre la materia.

Los inventarios sobre información ambiental, económica, socio-política y tecnológica, base de los juicios realizados por el autor en aplicación de la metodología ANP-Fuzzy, se desarrollan en los apartados 2.3.1, 2.3.2, 2.3.3 y 2.3.4 siguientes, constituyendo el nexo de unión entre el vasto conocimiento existente sobre la fracturación hidráulica, y los juicios emitidos en aplicación de la metodología propuesta para la evaluación de la sostenibilidad de la fracturación hidráulica.

2.3.1. Inventario de la información ambiental.

2.3.1.1. Cargas ambientales (MA1): contaminación de las aguas y del aire, calentamiento global, residuos y degradación del suelo.

Contaminación de las aguas.

Aguas subterráneas.

El informe final de la Agencia de los Estados Unidos para la Protección Ambiental (EPA, 2016) dictamina la existencia de contaminación de aguas subterráneas debido a la actividad de la fracturación hidráulica, en algunos casos, centrándose en las siguientes actividades con potencial de contaminación:

- Inyección de fluidos en la etapa de fracturación, con posible migración de gases y líquidos hacia recursos de agua subterránea destinada a consumo, debido a fallos en la integridad del pozo (los pozos se construyen utilizando múltiples capas concéntricas de acero y cemento, según configuración determinadas por las regulaciones federales o estatales, o la experiencia de la industria, ver figura 2.16)
- Derrames durante la etapa de recogida del flowback, con posible contaminación de aguas superficiales y subterráneas, caracterizados por un aumento en la salinidad de las mismas. Los derrames pueden infiltrarse a través de rocas fracturadas, o migrar lejos del emplazamiento hacia las aguas subterráneas. También pueden filtrarse a través del suelo dando lugar a una contaminación a más largo plazo.

- Balsas de almacenaje o eliminación de aguas residuales, no impermeabilizadas o impermeabilizadas inadecuadamente han producido impactos en aguas superficiales y subterráneas

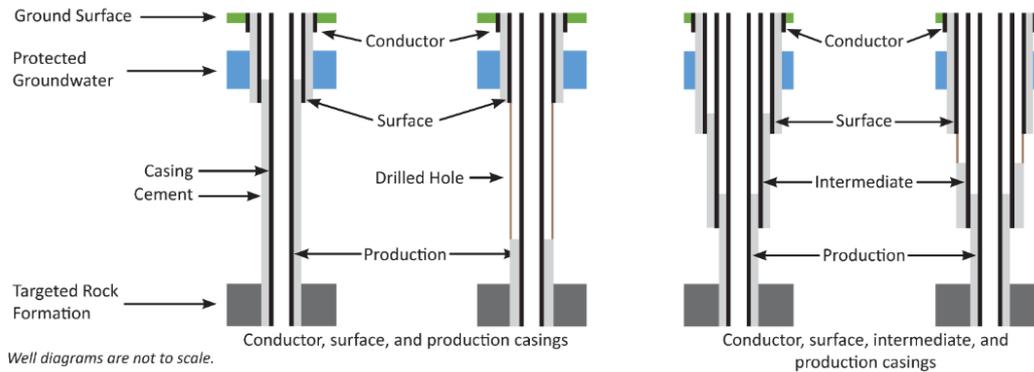


Figura 2.16. Características constructivas de un pozo (EPA, 2016).

Adicionalmente, el citado informe destaca que algunas de las sustancias químicas usadas en la fracturación hidráulica son peligrosos para la salud humana. De las 1.606 sustancias químicas identificadas por la EPA, 173 tienen valores de toxicidad oral crónica según fuentes federales, estatales e internacionales. Sin embargo, resalta que estos datos por sí solos son insuficientes para determinar qué sustancias químicas tienen el mayor potencial de impactar en los recursos de agua destinados al consumo humano, y en la salud humana.

Las etapas de mayor riesgo de contaminación de acuíferos son la fracturación, la fase de finalización (well completion) y la de producción (Broomfield, 2012). El mecanismo más probable de contaminación es la fuga a través de un inadecuado recubrimiento de cemento, o desde formaciones intermedias a través del anillo del pozo. Otra fuente de contaminación es la contaminación desde la superficie debida a derrames. No está suficientemente estudiada la contaminación desde la formación fracturada.

Se debe prestar especial atención a los acuíferos artesianos, a los acuíferos geotermales y fracturas con indicio de termalismo, que implican la existencia de flujos rápidos procedentes de zonas profundas que favorecen la propagación hacia la superficie de cualquier afección profunda.

Las medidas de prevención de la contaminación deben basarse en estudios de la integridad del pozo y estudios hidrogeológicos que incluyan una red de vigilancia y el establecimiento de un nivel de referencia previo a la realización de las operaciones.

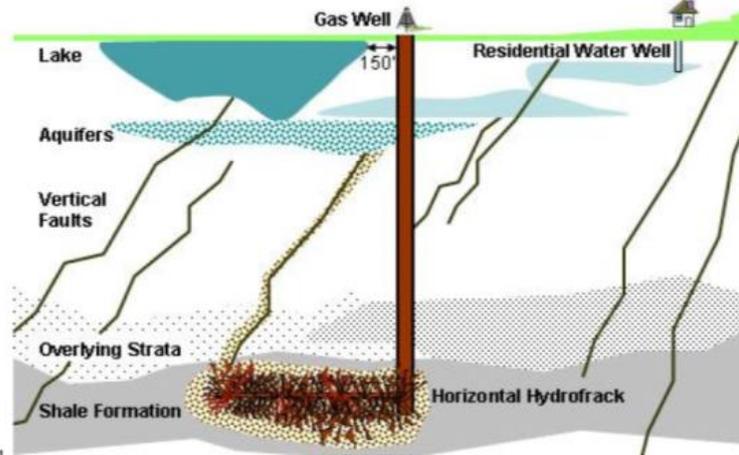


Figura 2.17. Rutas de contaminación de acuíferos (Northrup, 2010).

La vulnerabilidad de los sistemas acuíferos superficiales a la posible contaminación por fugas de gas, fluidos de la fracturación hidráulica y/o aguas de la formación, depende principalmente de la conectividad entre las formaciones profundas de gas de pizarra y los acuíferos superficiales suprayacentes, debido a la presencia de importantes redes de diaclasas (Vengosh et al., 2013).

Los contaminantes también pueden tener su origen en la propia formación de gas de pizarra, disolviéndose en el fluido de fracturación, pudiéndose encontrar, entre otros, los siguientes: CH₄, CO₂, H₂S, N₂, He, elementos traza como Hg, As, Pb, Ra, Th, U, y COVs como benceno.

Otros contaminantes pueden tener su origen en los fluidos de perforación o de fracturación, que pueden contener sustancias peligrosas como el ácido clorhídrico, poliácridamida, dimetilformamida, etilenglicol, isopropanol etc.

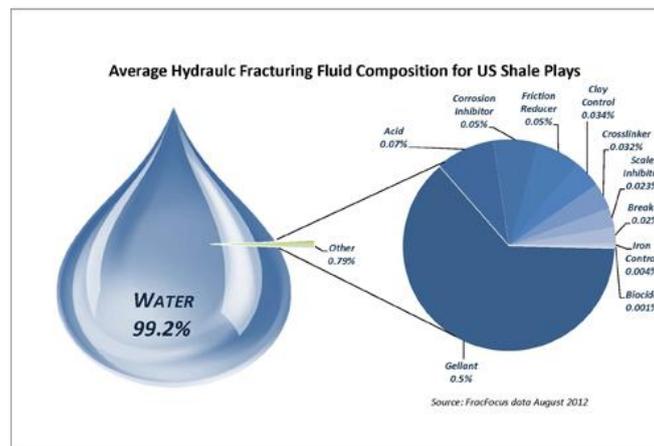


Figura 2.18. Composición media del fluido de perforación².

² <https://www.fracfocusdata.org>

Tabla 2.7. Composición del fluido de perforación en un pozo en Garfield (Colorado)².

Trade Name	Supplier	Purpose	Ingredients	Chemical Abstract Service Number (CAS #)	Maximum Ingredient Concentration in Additive (% by mass)**	Maximum Ingredient Concentration in HF Fluid (% by mass)**
Water	Oxy	Carrier/Base Fluid	Water	7732-18-5	100.00%	89.97486%
Sand	Halliburton	Proppant	Crystalline Silica Quartz	14808-60-7	100.00%	9.16027%
HCL Acid	Halliburton	Acid	Hydrochloric Acid	7647-01-0	10.00%	0.05694%
FR-66	Halliburton	Friction Reducer	Hydrotreated Light Petroleum Distillate	64742-47-8	30.00%	0.01660%
Losurf-300M	Halliburton	Surf	Ethanol	64-17-5	60.00%	0.04889%
			Poly (oxy-1,2-ethanediyl), alpha-(4-nonylphenyl)-omega-hydroxy-, branched	127087-87-0	10.00%	0.00815%
			Naphthalene	91-20-3	1.00%	0.00081%
			1,2,4 Trimethylbenzene	95-63-6	1.00%	0.00081%
			Heavy Aromatic Petroleum Naphtha	64742-94-5	30.00%	0.02445%
Clayfix 3	Halliburton	Clay Stabilizer	Sodium Chloride	7647-14-5	30.00%	0.01771%
Cla-Web	Halliburton	Clay Stabilizer	Proprietary		60.00%	0.00000%
BE-7	Halliburton	Biocide	Sodium Hypochlorite	7681-52-9	30.00%	0.02126%
			Sodium Hydroxide	1310-73-2	2.00%	0.00142%
Scalechek HT	Halliburton	Scale Inhibitor	Organic Acid Salt	Mixture	100.00%	0.00000%
LP-55	Halliburton	Scale Inhibitor	Polyacrylate		60.00%	0.02%

El riesgo de conectividad entre la formación objetivo y los acuíferos superficiales debe ser evaluado antes de comenzar las operaciones de fracturación. La geometría y la precisión con la que puede ser determinada la disposición especial de las formaciones de roca bajo la superficie, tiene especial importancia en las regiones con una estructura tectónica e historia geológica complejas, como ocurre en Europa occidental, a diferencia de EE.UU. donde las formaciones son relativamente simples y horizontales, con acuíferos que se sitúan a varios kilómetros por encima de la formación (Healy, 2012).

Los riesgos de contaminación, y las incertidumbres asociadas con un fallo en el recubrimiento del pozo (casing) y la migración de fluidos a través de las fracturas son potencialmente sustanciales, pero menores comparados con los riesgos de contaminación, y las incertidumbres asociadas con la disposición de los fluidos hidráulicos ya utilizados (Rozell et al, 2012).

Tabla 2.8. Comparativa de los riesgos asociados a las diferentes rutas de contaminación del agua en un pozo típico de la formación Marcellus Shale en Pennsylvania (Rozell et al., 2012).

Pathway	Best-Case 50th Percentile Contamination Volume (m ³)	Worst-Case 50th Percentile Contamination Volume (m ³)	Maximum Epistemic Uncertainty Between Best and Worst Case (m ³)
Transportation	< 0.01	0.3	0.6
Well casing failure	< 0.01	9	60
Fracture migration	< 0.01	225	270
Dilling site spills	< 0.01	3	15,000
Wastewater disposal	202	13,500	26,900

En la tabla 2.8, las probabilidades varían entre el mejor caso (la contaminación más baja posible), y el peor caso (la contaminación más elevada), refiriéndose los valores a un solo pozo. Esta tabla se construye a partir de los datos públicos disponibles y estimados. Generalmente el "mejor caso" se refiere a la probabilidad de contaminación propuesta por defensores de la fracturación

hidráulica (ej. la industria del gas natural). El "peor caso" se construye a partir de las estimaciones de los grupos que se oponen a la técnica, como las organizaciones ambientalistas.

Aguas superficiales.

El estudio de la D.G. de Medio Ambiente de la Comisión Europea (Broomfield,2012) establece que existe un alto riesgo de contaminación de las aguas superficiales en las etapas de fracturación y finalización del pozo.

Las operaciones llevadas a cabo en cada uno de los "pads" o plataformas de pozo, requieren el transporte de materiales, uso de sustancias, generación de residuos, almacenamiento y transporte de dichos residuos para su gestión.

Los peligros de contaminación en dichas operaciones se deben principalmente a:

- Derrame, rebose, o filtraciones de las balsas de lodos de corte debidos a:
 - Capacidad limitada de almacenamiento.
 - Error del operario.
 - Lluvias torrenciales o inundación por riadas.
 - Construcción deficiente o fallo en las geomembranas de impermeabilización.
- Derrame de los concentrados de fluidos de fracturación durante las transferencias y las operaciones finales de mezcla con agua, debidos a:
 - Roturas en las conducciones.
 - Errores del operario.
- Derrame del fluido de retorno (flowback) durante su transferencia al lugar de almacenamiento, debido a:
 - Rotura en las tuberías o el árbol de fracturación, durante la operación.
 - Capacidad de almacenamiento insuficiente, y rebose.
 - Error del operador.
- Pérdida de la capacidad de retención del fluido del flowback almacenado, debido a:
 - Rotura del tanque.
 - Sobrellenado de las balsas de almacenamiento debido a error del operario o capacidad de almacenamiento limitada.
 - Ingreso de agua debido a tormentas o riadas.
 - Construcción deficiente o fallo de la lámina impermeabilizante.

- Derrame del fluido del flowback durante la transferencia del lugar de almacenamiento hasta los tanques para el transporte, debido a:
 - Rotura de tuberías.
 - Error del operador.
- Derrame del flowback durante el transporte de las aguas residuales a las instalaciones de tratamiento.

Los derrames al suelo o a las aguas superficiales son preocupantes debido a las propiedades tóxicas de algunos fluidos de perforación o fracturación (debido a sus constituyentes).

Entre el 15-80% del fluido inyectado retorna a la superficie como flowback (20-85% permanece en profundidad). El fluido del flowback incluye los fluidos de fracturación bombeados hacia el pozo, y además contiene, según el informe Tyndall (Broderick, et al., 2011):

- Productos de transformación química que han podido formarse por reacción química entre los aditivos de fracturación.
- Sustancias movilizadas desde la formación de gas de pizarra durante la operación de fracturación.
- Elementos radiactivos naturales (naturally occurring radioactive materials, NORMs).

La Agencia Ambiental del Reino Unido ha realizado un análisis mineral del flowback en un pozo de exploración de Cuadrilla Resources. Los análisis detectaron altos niveles de sodio, cloruros, bromuros y hierro, así como altos niveles de plomo, magnesio, zinc, cromo y arsénico, comparados con los niveles contenidos en el agua local utilizada para inyectar en el pozo. El fluido del flowback es muy salino, con concentraciones de cloruros cuatro veces superiores al agua de mar. Las analíticas muestran también la presencia de bajos niveles, pero significativos, de NORMs, con el radio 226 como el material radiactivo principal (entre 14 y 90 Becquerels por litro). Otros isótopos naturales presentes son el potasio 40 y el radio 228 (Broderick, et al., 2011).

Hay que tener en cuenta que los volúmenes de aguas residuales generadas y las necesidades de almacenamiento y tratamiento de las mismas son elevados. Considerando que se utilizan una media de 2,9 millones de galones por pozo de fluido de perforación, equivalentes a 10.978 m³ (Wang et al., 2014) y asumiendo que se recupera como flowback una media del 33% (Rahm et al., 2013), se obtendría un volumen medio de flowback por pozo de 3.623 m³.

Según la tabla 2.8, el volumen de aguas contaminadas debido a la incorrecta gestión del flowback puede alcanzar los 13.500 m³ por pozo en el peor de los casos.

Contaminación del aire.

Las emisiones a la atmósfera procedentes de áreas donde se desarrollen numerosos pozos podrían tener un efecto potencialmente significativo en la calidad del aire. Una explotación a gran escala de estas reservas podría tener un efecto potencialmente significativo en los niveles de ozono. La exposición a altos niveles de ozono tiene efectos adversos sobre la salud respiratoria y es considerado como un riesgo potencialmente alto según el informe de la Comisión Europea (Broomfield, 2012).

Las fases de fracturación y finalización del pozo pueden tener efectos negativos sobre la calidad del aire, entre los que podemos citar las emisiones de los motores diésel de las bombas de líquidos de fracturación, y las emisiones de contaminantes peligrosos, precursores de ozono y olores debidos a las fugas de gases durante la fase de finalización (desde las bombas, válvulas, válvulas de seguridad, antorchas, mezcladores, compresores etc.)

Hay que considerar también los riesgos derivados de las emisiones de contaminantes peligrosos, en forma gaseosa, disueltos en los fluidos residuales de la fracturación hidráulica (flowback), en la fase de finalización (well completion).

Las emisiones fugitivas de metano (con impactos en el cambio climático, y vinculado a la formación de ozono fotoquímico), y de trazas de gases potencialmente peligrosos pueden tener lugar en el transporte del gas a través de conducciones hacia las tuberías de transporte principal o en la planta de tratamiento del gas.

Son probables las pérdidas de metano y de otros gases traza hidrocarbonados durante la fase de producción del pozo.

En la fase de abandono del pozo también pueden existir impactos en la calidad del aire, si el sellado del mismo no es adecuado, pero suelen menores.

Podemos agrupar los contaminantes del aire en dos grandes grupos: metano, y otros compuestos orgánicos, gran parte de ellos peligrosos.

Emisiones de metano (CH₄).

Las emisiones de metano tienen lugar durante las etapas de preparación, perforación y fracturación, transporte de agua y productos químicos, finalización del pozo (well completion), producción y transporte del producto (ver figura 2.19).

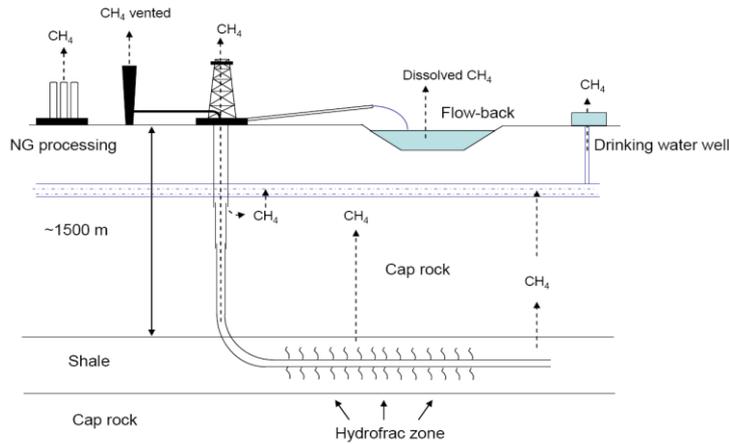


Figura 2.19. Flujos potenciales de emisiones contaminantes al aire e incorporación de contaminantes peligrosos, y materiales radiactivos al agua y suelo (Lechtenböhmer et al., 2011).

En la fase de finalización, retorna a superficie una combinación de fluidos de fracturación y agua con hidrocarburos, por lo que hay emisiones en los separadores, tanques de almacenamiento, venteos o antorchas. Generalmente se requieren equipos de reducción de dichas emisiones, similares a los de la figura 2.20.

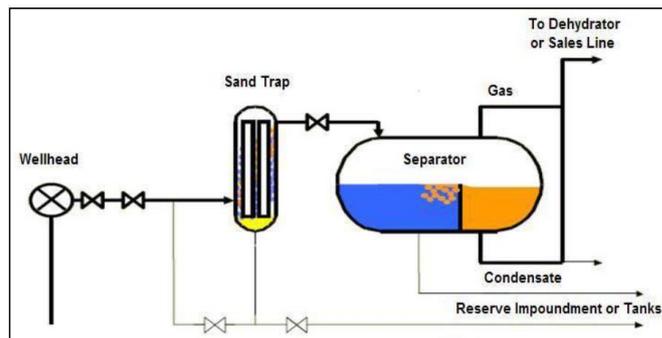


Figura 2.20. Equipo de reducción de emisiones en la etapa de finalización (Foster et al., 2012).

Considerando una producción media el primer año de 0,5 bcf por pozo (Weijermars, 2013), la producción anual sería de 10.954 t de gas bruto, con una densidad de 0,0483 lb/scf (Armendariz, 2009). Las emisiones anuales por pozo serían 243,18 t CH₄ (74%, metano; emisiones fugitivas totales del 3%, ver tabla 2.9), equivalentes a 7.295 t CO₂e por pozo y año (Global Warming Potential, GWP = 30 (28-34), 100 years, WG1-AR5 IPCC,2013).

Dado el largo período de degradación de los gases de efecto invernadero como el CH₄, tiene más sentido realizar el cálculo de las emisiones de CO₂e por pozo a lo largo de la vida del mismo. Así, tomando como partida el dato de recuperación media de un pozo igual a 3,25 bcf (Weijermars, 2013) producirían unas emisiones fugitivas de metano de 47.411 tCO₂e por pozo.

Tabla 2.9. Estimación de emisiones de metano en el pozo y planta de procesado (Wang et al., 2014).

Researchers	Shale gas (the percentage of methane produced over the lifecycle of a well)
Howarth et al. [163]	3.3% (mean, range=2.2-2.4%)
EPA [72]	3.0%
Jiang et al. [43]	2.0%
Hultman et al. (2011)	2.8%
Stephenson et al. [86]	0.6%
Burnham et al. [60]	1.3%
Cathles et al. [154]	0.9%
Pétron et al. [57]	4.0% (mean, range=2.3-7.7%)

Emisiones de otros compuestos volátiles (COVs).

Además de las emisiones de gases de efecto invernadero, con efectos sobre el cambio climático, las actividades de producción de gas de pizarra pueden generar cantidades significativas de otros contaminantes del aire (COVs), que pueden afectar a la calidad del aire en áreas con gran concentración de instalaciones de gas de pizarra. Gran parte de los COVs emitidos están catalogados como contaminantes peligrosos del aire (Hazardous Air Pollutants, HAPs). Algunos de estos contaminantes son el n-hezano, benceno, trimetilpentano, etilbenceno, xileno y tolueno.

En la tabla 2.10 se muestran los factores de emisión de estos contaminantes peligrosos en las diferentes etapas de producción, procesado y transmisión del gas de pizarra. Dentro de los COVs están incluidos los HAPs.

Tabla 2.10. Emisiones fugitivas (factores de emisión) de compuestos orgánicos volátiles y contaminantes peligrosos en Barnett Shale (adaptada de Armendariz, 2009).

Etapa	COVs (lbs/MMcf)	HAPs (lbs/MMcf)
Producción	11	0,26
Procesado	14	0,3
Transmisión	12	0,28
Total	37	0,84

Considerando la máxima producción de gas bruto del primer año (0,5 bcf), se emiten 8,4 t de COVs y 190 kg de HAPs por pozo. En este cálculo no se han tenido en cuenta las emisiones de los tanques de condensados que dependerán del volumen almacenado.

A lo largo del ciclo completo del pozo (25 años) se emiten 54,98 t de COVs y 1.248 kg de HAPs.

Impacto sobre el calentamiento global considerando todo el ciclo de vida.

El impacto en el medio ambiente, en forma de calentamiento global, debido a la energía se ha estimado en Reino Unido (Stamford et al., 2014) a través de un análisis del ciclo de vida (Life Cycle Analysis, LCA) según la metodología ISO 14.040/44, con un enfoque "desde la cuna a la tumba", siendo la unidad funcional 1 kwh de electricidad generado en planta.

El análisis del ciclo de vida en Reino Unido revela para el gas de pizarra un GWP 100 medio de 462 g CO₂-eq/kwh. La mayor contribución corresponde a la combustión del gas, con un valor similar a la combustión del gas natural convencional.

El impacto en términos de huella de carbono, de la extracción es más intenso que el gas convencional, de 4-23 veces superior.

En su conjunto, el impacto del ciclo de vida es ligeramente inferior que el gas LNG, debido a las emisiones, en este último, debidas a la licuefacción, transporte oceánico y regasificación. En España en el 2015, se importaron 212 Twh a través de gasoductos y 152 Twh a través de barcos en forma de LNG (Enagas, 2015).

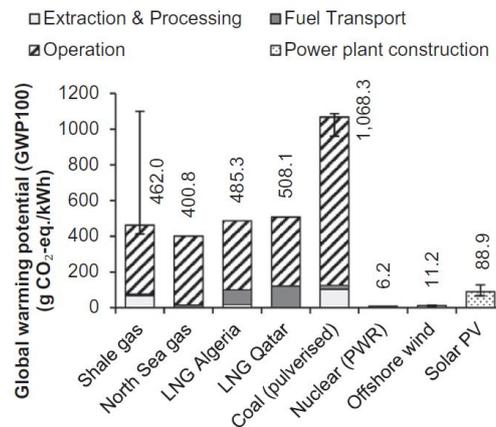


Figura 2.21. Huella de carbono de la generación eléctrica (Stamford, et al., 2014)

Teniendo en cuenta la mayor huella de carbono del gas de pizarra respecto al gas convencional por gasoducto, y que en España una gran parte del gas procede de gasoductos, se obtiene una huella de carbono procedente de la generación eléctrica a partir de gas de pizarra ligeramente mayor que en la generación a través de gas convencional y muy superior a las energías renovables según puede verse en la figura 2.21.

Residuos y degradación del suelo.

Maloney et al., 2012 señala que el 98,4% de los fluidos de perforación se eliminan en vertederos, existiendo un 49,2% de transporte entre Estados y un 36,7% de transporte entre cuencas.

En Marcellus.com³ se reporta una cantidad de 449.573 t de residuos del gas de pizarra depositados en 2011 en los vertederos de Pensilvania. En 2014 la cantidad era similar. La preocupación de la Administración sobre estos lodos que proceden de fluidos de perforación, pero también de residuos de tratamiento de fluidos de fracturación es la presencia de Radio, cuya desintegración produce Radón, elemento causante de cáncer de pulmón.

La contaminación del suelo puede producirse por gases, combustibles, lubricantes, disolventes, agentes de limpieza y materiales utilizados en la fabricación del fluido de perforación y por el flowback. Existe un riesgo directo de afección a la calidad del suelo, la fauna y la flora, y otro indirecto por la alimentación de animales con las plantas que crecen en el suelo contaminado (Król et al., 2017)

Por otra parte, se produce un deterioro del suelo por la mezcla del humus con capas más profundas y por la compactación y erosión del mismo (Król et al., 2017).

Moran et al., 2015 midió los cambios en el uso del suelo en el desarrollo del gas de pizarra en la Cuenca Fayetteville en Arkansas entre los años 2001 y 2012 con el fin de estimar el impacto sobre el uso del suelo y predecir las consecuencias futuras para la pérdida de hábitat y la fragmentación. Se encontró una pérdida significativa de bosque natural, así como la creación de hábitats de contorno en 1.067 km lineales, carreteras y áreas desarrolladas en un 2% del hábitat natural de la región. De media, cada pozo había modificado 2,5 ha de suelo y adicionalmente 0,5 ha de bosque natural.

2.3.1.2. Uso de recursos (MA2): agua, energía y materiales.

Uso de agua.

El uso de recursos como el agua para la perforación y fracturación, provoca impactos ambientales, al retraer grandes cantidades de agua de los cursos naturales en épocas de estiaje. Además, se generan residuos (lodos de perforación y flowback de la fracturación) altamente contaminantes. En la tabla 2.11 se muestra el consumo medio de agua por pozo. La recuperación de los fluidos inyectados varía según la formación entre un 15%-80% (Broderick et al., 2011), siendo un valor medio utilizado en la bibliografía del 33%. Este fluido recuperado puede reutilizarse en la fracturación de nuevos pozos, reduciendo las necesidades de agua.

³ <http://marcellus.com/news/id/117296/pennsylvania-department-environmental-protection-changes-rules-oil-gas-sludge-landfills/>

Tabla 2.11. Consumo de agua en la producción de gas de pizarra (m³) (Lechtenböhmer et al., 2011).

Site/Region	Total (per well)	Only Fracturing	Source
Barnett Shale	17000		Chesapeake Energy 2011
Barnett Shale	14000		Chesapeake Energy 2011
Barnett Shale	no data	4500 -13250	Duncan 2010
Barnett Shale	22500		Burnett 2009
Horn River Basin (Canada)	40000		PTAC 2011
Marcellus Shale	15000		Arthur et al. 2010
Marcellus Shale	1500 – 45000	1135 – 34000	NYCDEP 2009
Utica shale, Québec	13000	12000	Questerre Energy 2010

Uso de energía.

La energía requerida para el desarrollo de un pozo genera emisiones de CO₂, y otros compuestos contaminantes. El uso de materiales implica emisiones de CO₂ indirectas.

En el consumo de energía hay que considerar que los equipos de perforación operan durante 210-380 h con una potencia instalada de 2500-6000 HP (Horse Power⁴). Durante la fase de fracturación la potencia de los equipos se eleva a 34.000 HP con una duración de 10-30 h. Se consumen 18,6 l de diésel por metro perforado sólo en la perforación horizontal (1000-1500 m), y 109.777 l de diésel por pozo en el bombeo para la fracturación (Foster et al., 2012) . A esto habría que añadir la energía requerida por los materiales utilizados, el tratamiento de aguas, la transmisión del gas, el procesado etc.

Consumo de materiales.

En relación con el uso de materiales, se requiere una cantidad importante de arenas o cerámicas que actúan como propantes en la fracturación hidráulica. Se estima que se necesitan 2.265 t de propante por pozo. En EEUU se utilizaron como propantes 43 millones de toneladas de este material solo en el año 2014⁵. Hay que considerar el impacto ambiental derivado de la extracción de estos recursos de canteras o graveras.

Otros recursos consumidos en la industria del gas de pizarra son el acero y el cemento utilizados en los revestimientos de los pozos. Se requieren una media de 327,6 t de acero y 207,7 m³ de cemento (para un pozo de 2.773 m verticales y 3.000 m horizontales), según Stamford et al., 2014. Habría que considerar la huella ecológica derivada de la fabricación de estos materiales.

⁴ 1HP=1,014 C.V.

⁵ <https://www.thebalance.com/what-is-fracking-sand-1182604>

En la perforación se consumen, así mismo, 17.964 kg de combustible, 5.988 kg de bentonita, 12.635 kg de químicos inorgánicos y 2.710 de químicos orgánicos.

Otros materiales señalados por Stamford et al., 2014 consumidos en un pozo en la fase de fracturación son: poliacrimida, 47.657 kg, surfactantes 27.642 kg, ácido clorhídrico 30.718 kg, inhibidores de la corrosión 17.457 kg y biocidas 8.932 kg.

2.3.1.3. Otros impactos sobre el ambiente (MA3): accidentes, sismicidad, impacto visual y ruido.

Riesgo de accidentes.

Los accidentes, como explosiones en el pozo que provocan la combustión no controlada de sus emisiones, accidentes en los vehículos de transporte de fluidos de flowback conteniendo metales y residuos radiactivos, derrames en balsas o rotura de las mismas, etc. causan impactos en el aire o en las aguas superficiales y/o subterráneas.

En un estudio realizado en Pennsylvania se constató un incremento de accidentes de camiones del 8,8% en las áreas en las que se realizaba fracturación hidráulica (Food&Water Watch, 2013).

Desde el 23 de octubre de 2015 hasta el 18 de febrero de 2016, se emitieron 97.100 toneladas de metano y 7300 toneladas de etano en una fuga en la tubería de acero de un pozo en Alison Canyon, Los Angeles (Conley et al., 2015)



Figura 2.22. Recuperado de web el 18/3/2017⁶

En junio de 2016 en San Juan County, New Mexico se produjo la explosión de 36 tanques de almacenamiento de petróleo de fracturación hidráulica lo que provocó el desalojo de 55 residentes y el corte de una autopista⁷.

La mayoría de los accidentes de contaminación de las aguas se deben a malas prácticas. En Alemania, se produjo un accidente en el yacimiento de tight gas (gas en piedra caliza o arenisca con baja permeabilidad) "Söhlingen" en 2007, que causó contaminación del agua subterránea con benceno y mercurio. A pesar de que se informó a la Administración ambiental, la población no tuvo

⁶ https://secure.i.telegraph.co.uk/multimedia/archive/03543/Aerial-Footage-of-_3543066b.jpg

⁷ <https://www.ecowatch.com/massive-fracking-explosion-in-new-mexico-1919567359.html>

conocimiento de este hecho hasta que la compañía procedió a reemplazar el suelo agrícola donde los fluidos habían filtrado hacia el subsuelo (Kummetz, 2011).

Los impactos ambientales, como la contaminación de las aguas, afectan a los costes de operación de las compañías de fracturación hidráulica debido a la necesidad de adopción de medidas correctoras. La depuración de la contaminación producida en el agua potable es costosa. La eliminación del metano de 14 pozos particulares de abastecimiento de agua potable en Dimock Pennsylvania ha costado 109.000 US\$, mientras que la limpieza de unas filtraciones de gas en Colorado se ha llevado a cabo durante 8 años con un coste de cientos de miles de dólares (Dutzik et al., 2012).

La contaminación de grandes sistemas municipales de abastecimiento como el de la ciudad de New York, podría requerir la construcción de una planta de filtración con un coste aproximado de 6 billones de dólares (Dutzik et al., 2012).

Un estudio del año 2011 sobre un pozo de Marcellus Shale, realizado por investigadores de la Universidad de Pittsburg estimó los costes de recuperación ambiental, incluyendo balsas y reparación de carreteras públicas entre 500.000-800.000\$ por "pad" (Dutzik et al., 2012).

Sismicidad.

El informe del Departamento de Medio Ambiente del Estado de New York (DEC NY, 2011) describe dos tipos de eventos de sismicidad inducida, asociados a la fracturación hidráulica. Uno de ellos son los micro-seísmos que resultan del proceso físico de la fracturación. Son de una intensidad muy pequeña y requieren equipos muy sensibles para su detección.

El Segundo tipo de eventos son los provocados por la inyección de líquidos en zonas con fallas geológicas, provocando aceleraciones mayores, que pueden ser percibidas por el hombre a nivel de superficie. Este tipo de eventos puede ser causados por cualquier tipo de inyección de líquidos presurizados bajo la superficie, como puede ser el almacenamiento de CO₂ o los almacenamientos de gas. Las magnitudes de estos seísmos suelen ser inferiores a 3 en la escala Richter, y pueden ser evitados a través de la selección del lugar y diseño de la inyección. Así, por ejemplo, en el proyecto de almacén estratégico de gas Castor, se produjeron seísmos que alcanzaron 4,3 en la escala Richter, causando alarma en las poblaciones de la costa de Castellón y Tarragona, obligando a la paralización del proyecto.

En la región de Azle en Texas desde 2008 se han registrado seísmos de escala M2, hasta M3.6 (escala de magnitud momento⁸), determinando que su causa fue debida a la compleja

⁸ Esta nueva magnitud, introducida en 1979 por Hanks y Kanamori, ambos del Instituto de Tecnología de California, se refiere al momento sísmico debido al par de fuerzas que se puede considerar como responsable de la rotura. Esta nueva magnitud expresa la energía liberada por el sismo.

interacción entre las actividades de producción de gas de pizarra y de inyección de aguas residuales de la fracturación hidráulica en pozos abandonados (Hornbach et al., 2015).

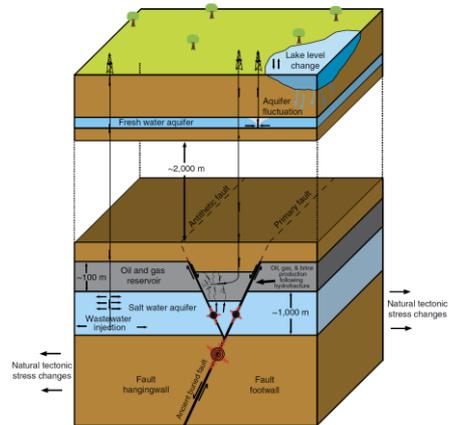


Figura 2.23. Cambios naturales y antropogénicos en el stress geológico que pueden haber provocado sismos en Azle (Texas) (Hornbach et al., 2015).

En Poland Township, Ohio (EEUU) en marzo de 2014 se produjeron hasta 77 terremotos de escala entre 1 y 3 (Richter) debidos, según la Sociedad Sismológica de América, a la activación de una falla desconocida por las operaciones de producción de gas de pizarra⁹.

Se consideran fallas activas aquéllas que han registrado movimientos en el Cuaternario reciente y, aun cuando puedan hacerlo con periodos de recurrencia extremadamente largos (miles o decenas de miles de años), se estima que pueden continuar moviéndose en el futuro y produciendo terremotos. No existe un consenso general sobre los límites cronológicos en que debe concretarse esa actividad. No obstante, a título de ejemplo, la Nuclear Regulatory Commission de Estados Unidos cataloga como falla capaz (un concepto que puede considerarse sinónimo de falla activa) aquélla que ha registrado al menos un movimiento identificable por deformaciones en la superficie del terreno en los últimos 35.000 años, o bien movimientos recurrentes en los últimos 500.000 años (U. S. Nuclear Regulatory Commission, 2007).

El Instituto Geológico y Minero de España (IGME) dirige desde 2010 el programa Fase Geo, que recopila y documenta todas las fallas activas de la Península Ibérica, aun las que no han provocado ningún seismo reciente, para identificar su potencial riesgo de ocasionar terremotos. Ha desarrollado la Base de Datos de Fallas Activas de Iberia (QAFI) para construir un repositorio público de información científica sobre fallas con actividad en los últimos 2,6 millones de años (Cuaternario). No obstante, la base de datos dista aún de ser completa.

⁹ <https://www.elmundo.es/ciencia/2015/01/06/54aaef25e2704ef6788b4593.html>

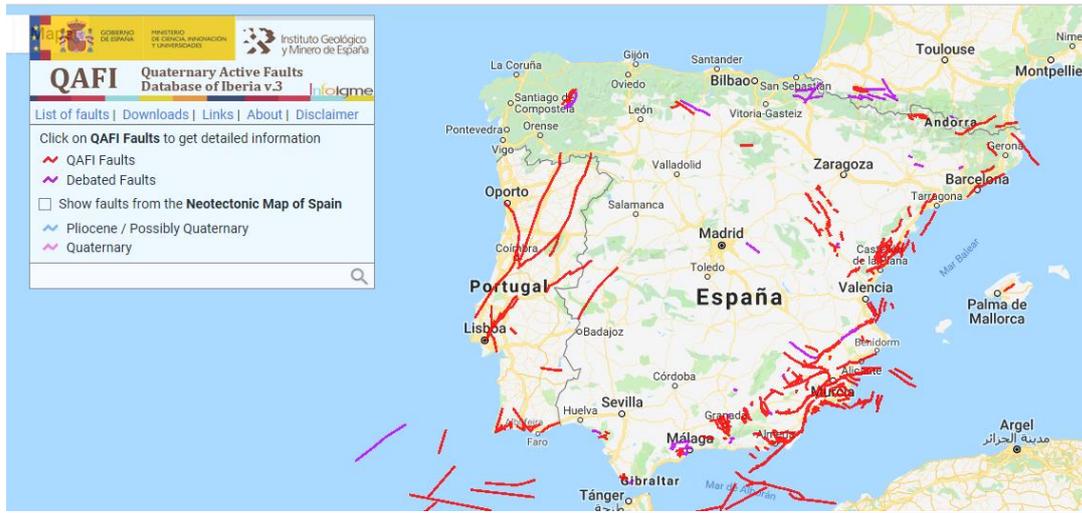


Figura 2.24. Mapa de fallas activas en la Península Ibérica, actualizado en 2015. Fuente: IGME <http://info.igme.es/qafi/>

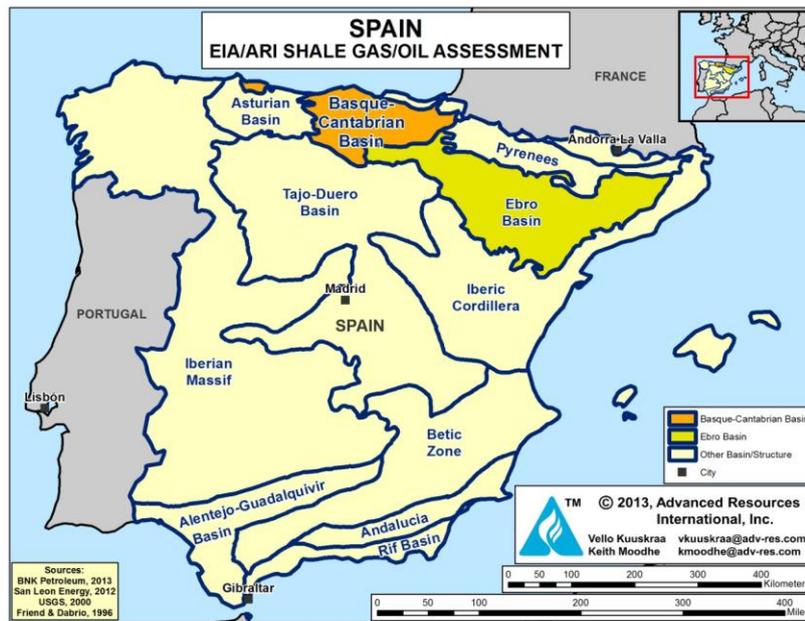


Figura 2.25. Mapa de localización de las cuencas con gas de pizarra. U.S. Energy Information Administration, 2015.

De la comparación de las figuras 2.24 y 2.25 se puede deducir la existencia de fallas activas coincidentes con recursos de gas de pizarra en la Cuenca Vasco-Cantábrica (fallas Ventaniella y Ubierna, en Asturias, Palencia y Burgos). No obstante, no se deben descartar la existencia de fallas menores no cartografiadas, por lo que para evitar movimientos sísmicos derivados de la fracturación hidráulica es muy importante el estudio geológico de detalle de la zona donde se va a producir la inyección de los fluidos.

Impacto visual.

En términos de impacto visual, cada plataforma de fracturación hidráulica (well pad) tiene una extensión media entre una y dos hectáreas, sin contar los caminos de acceso. El impacto visual es mayor en la etapa de construcción y desarrollo del pozo (perforación, fracturación, finalización del pozo - well completion), ya que se requieren balsas de almacenamiento, tanques, equipos de perforación, camiones etc., haciendo que el desarrollo de estas instalaciones sea difícil de camuflarse con el paisaje.

Una vez el pozo está en producción, los impactos visuales son menores ya que se retiran la mayor parte de los equipos quedando la cabeza del pozo y algún depósito de almacenamiento de gas.

El informe de la Comisión Europea (Lechtenböhmer et al., 2011) califica el impacto visual como moderado durante la fase de fracturación y bajo en la fase de producción.



Figura 2.26. Impacto visual durante la perforación de un pozo. Recuperado de web el 20/4/2017¹⁰

¹⁰ <https://kwalliance.org/what-we-do/clean-water-policy/pollution-prevention/fracturación-hidráulica-ky/>



Figura 2.27. Impacto visual de las plataformas ("pads") en fase de producción. Recuperado de web el 20/4/2017¹¹



Figura 2.28. Cabeza de pozo en producción. Recuperado de web el 20/4/2017¹²

Ruido.

De todas las actividades, la perforación del pozo es probablemente la de mayor contaminación acústica continuada (y lumínica), debido a que se requiere la perforación durante 24

¹¹https://c1.staticflickr.com/9/8392/8571069422_4b9a4ffc27_z.jpg

¹² <https://www.statoil.com/content/statoil/en/news/archive/2008/11/11/Chesapeake.html>

horas al día durante una media de cuatro a cinco semanas. Con el desarrollo de varios "pads" en una localidad el impacto del ruido es probable que sea localmente considerable y prolongado (Broomfield, 2012).

Los vehículos de transporte pueden afectar así mismo a las zonas residenciales y la fauna. DEC NY, 2011 indica la duración de las diferentes fases de un pozo y los niveles de ruido asociado, a diferentes distancias. Las tablas 2.12 y 2.13 reflejan estos datos.

Tabla 2.12. Plazos de construcción y desarrollo, DEC NY, 2001.

Operation	Estimated Duration (days)
Access roads	3 - 7
Site preparation/well pad	7 - 14
Well drilling	28 - 35
Hydraulic fracturing single well	2 - 5

Tabla 2.13. Niveles de ruido, adaptado de DEC NY, 2011.

Etapas	Niveles de ruido a 609m (2.000 pies) dBA
Construcción de accesos	57
Preparación del sitio	52
Perforación	44
Fracturación	72

De acuerdo con los datos de la tabla 2.13, los objetivos de calidad acústica regulados en el Real Decreto¹³ (55 dBA noche y 65 dBA de día), pueden ser excedidos incluso en zonas residenciales ubicadas a más de 600 m de distancia de las operaciones. Aplicando la fórmula de la propagación esférica del ruido, se obtiene que el pozo debe estar a más de 4,3 km de distancia de las zonas residenciales para que el nivel de ruido sea inferior a 55 dBA.

$$SP2 = 20 * \log\left(\frac{r_2}{r_1}\right)$$

¹³ R.D. 1038/2012, de 6 de julio, por el que se modifica el R.D. 1367/2007, de 19 de octubre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre del ruido, en lo que se refiere a la zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas.

Donde SP_2 es la disminución de la presión sonora en dB y r_1 y r_2 son las distancias a la fuente sonora.

2.3.2. Inventario de la información económica.

2.3.2.1. Rentabilidad (EC1) y precio del gas (EC2).

Rentabilidad (EC1).

Los principales condicionantes que han influido en la rentabilidad de los pozos de gas de pizarra en EE.UU. son la caída de los precios de gas, excedente en la producción de gas y expectativas de bajo incremento de la demanda interna, altos costes de producción y el declive de la producción propio de los pozos de fracturación hidráulica.

Los costes más importantes en la fracturación hidráulica son debidos a las fases de perforación y finalización del pozo (drilling&completion), estimadas en la formación Marcellus Shale en 4,5 millones de dólares de media (Duman, 2012).

A continuación, se muestran las principales variables económicas en Marcellus Shale y el punto de equilibrio para el precio del gas.

Tabla 2.14. Variables económicas en Marcellus Shale (adaptada de Duman, 2012).

Costes de perforación y finalización	4.500.000 US\$
Coste de operación	0,70 (US\$ por cada mil pies cúbicos de gas)
Precio inicial del gas	4,04 US\$ (por cada mil pies cúbicos de gas, incremento 2% anual)
Preparación del sitio y permisos	405.100 US\$
Royalties ¹⁴	17%
Costes de adquisición de arrendamiento (basados en bono de 3.450 US\$ por acre)	2.208.000 US\$

¹⁴ Compensación monetaria al propietario del terreno sobre un % del valor del valor del gas extraído y que se calcula en proporción a la superficie de la propiedad en relación con la superficie total afectada por el pozo en profundidad.

Como se puede observar en la figura 2.29, en EE.UU. el 66% de los costes de un pozo se corresponden con los costes de inversión (Capital Expenditures, CAPEX), y el 34% con los costes de operación (Operation Expenditures, OPEX). Esta diferencia entre ambos costes es mucho mayor en Europa donde los costes de inversión de disparan.

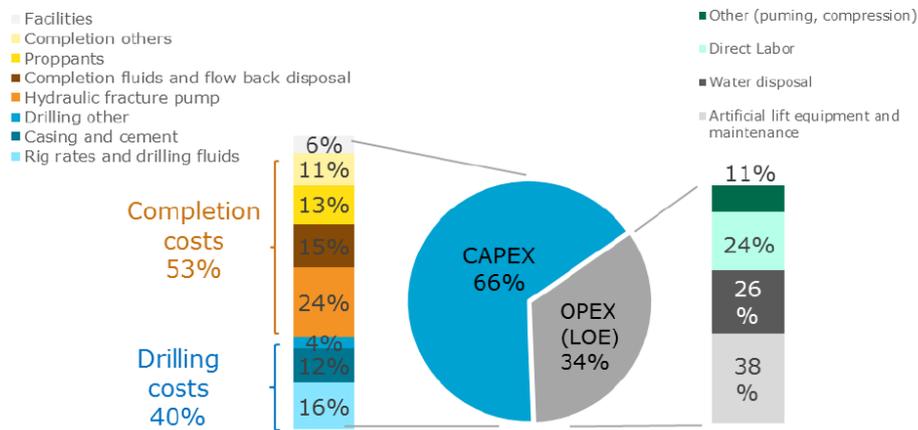


Figura 2.29. Reparto de costes en la producción de gas de pizarra en EE.UU. en pozo (2014) (Mistré et al., 2017)

Según Duman, 2012, para un pozo con 20 años de producción de gas, el umbral de rentabilidad viene marcado por un precio del gas de 2,98 dólares por cada mil pies cúbicos.

Tabla 2.15. Precio inicial del gas en el umbral de rentabilidad (US\$/mcf) (adaptado de Duman, 2012)

10 años de producción	3,29
20 años de producción	2,94
20 años de producción incluyendo intervenciones en el pozo y reestimulación	3,27

Sin embargo, como puede verse en la tabla 2.16, durante varios meses de 2015, 2016 y 2017, el precio de gas importado en EE.UU. estuvo por debajo del umbral de rentabilidad, alcanzando valores por debajo de 2 US\$/mcf.

Tabla 2.16. Detalle de los precios del gas de importación en EE.UU. en US\$/mcf (U.S. Energy Information Administration).

Year	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
2005	6.30	6.14	6.24	6.92	6.58	6.35	6.82	7.50	9.96	11.99	11.31	10.91
2006	10.11	7.96	7.00	6.73	6.53	5.83	5.95	6.74	5.83	4.88	7.24	7.60
2007	6.50	7.39	7.45	7.24	7.45	7.32	6.56	6.00	5.49	6.35	7.21	7.51
2008	7.66	8.34	9.03	9.61	10.80	11.71	11.78	8.67	7.54	6.87	6.54	6.74
2009	6.18	5.21	4.34	3.67	3.48	3.51	3.50	3.29	2.91	3.92	4.40	5.23
2010	5.95	5.62	4.87	4.13	4.13	4.23	4.40	4.13	3.76	3.83	3.96	4.56
2011	4.66	4.49	4.24	4.35	4.31	4.60	4.39	4.40	3.92	4.06	3.58	3.66
2012	3.27	2.86	2.36	2.04	2.29	2.35	2.78	2.83	2.67	3.16	4.03	3.93
2013	4.14	3.99	3.84	3.98	3.94	3.90	3.41	3.17	3.49	3.40	3.77	4.75
2014	7.15	9.11	8.12	5.11	4.60	5.32	4.77	3.87	4.24	3.87	3.97	4.44
2015	4.75	5.46	3.90	2.59	2.52	2.56	2.66	2.74	2.75	3.23	2.40	2.28
2016	2.80	2.43	1.73	1.61	1.55	1.90	2.35	2.42	2.47	2.59	2.70	3.50
2017	3.75	3.14	2.68	2.64	2.70	2.62	2.40	2.38	2.12	2.05	2.52	3.26
2018	4.40	3.01	2.45	2.20	1.73	1.86	2.15	2.22	2.09	2.57		

En Europa la geología es más compleja que en EE.UU. con pliegues y fallas que dificultan el proceso de evaluación y explotación del recurso. Europa carece además de la experiencia y tecnología necesaria para desarrollar pozos de gas de pizarra, por ejemplo, carece de equipos de perforación. Debido esta falta de tradición petrolera, en Europa los costes iniciales de producción se espera que sean mucho más elevados que en EE.UU. En la actualidad los costes de perforación son de 2 a 4 veces superiores que en EE.UU. El factor determinante del umbral de rentabilidad es el coste inicial del pozo (perforación y finalización), más que los costes de operación o royalties (Kuhn, et al., 2011). En España los costes de un pozo, incluyendo la fracturación pueden rondar los 25 MM €, de 3,5 a 5 veces los costes en EE.UU. (Cámara et al., 2013).

Como se puede deducir de los datos aportados, la rentabilidad del gas de pizarra en España en la actualidad está comprometida por los bajos precios del gas y sobre todo por los elevados costes de desarrollo de los pozos en Europa. En el Anexo III se realiza un análisis de viabilidad económica de un pozo en España, determinando los principales parámetros de rentabilidad del mismo.

Precio del gas (EC2).

Aunque el precio del gas es una variable que forma parte de la rentabilidad (EC1), se ha querido considerar como un factor económico independiente, dada su importancia en la viabilidad económica de un proyecto de gas de pizarra y consecuentemente, influye de forma importante en la sostenibilidad económica de dicha técnica.

Los precios del gas están ligados a los inventarios de gas natural, de forma que cuando hay exceso se reducen. Un equilibrio oferta/demanda sitúa el precio medio del gas entre 3 y 3,75 US\$/MMBtu en EE.UU. (ver figura 2.30).

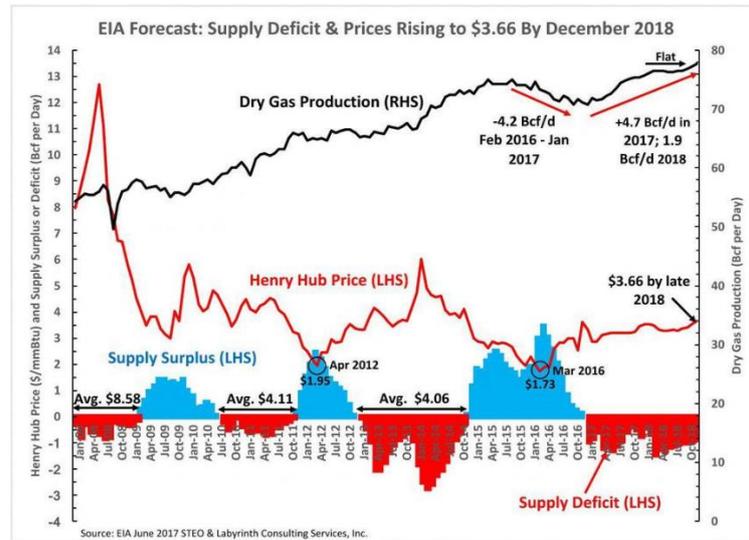


Figura 2.30. Variación de los precios del gas, producción y déficit/suministro. Fuente: EIA STEO and Labyrinth Consulting Services Inc. Junio 2017. Recuperado de web 6/8/2017¹⁵.

En la figura 2.31 se representa el precio del gas natural en Europa y EE.UU. desde 1980 hasta 2016 y las proyecciones hasta 2030. En 2030 se espera que el precio del gas natural en Europa alcance los 8 dólares (moneda constante) por cada millón de Btu.

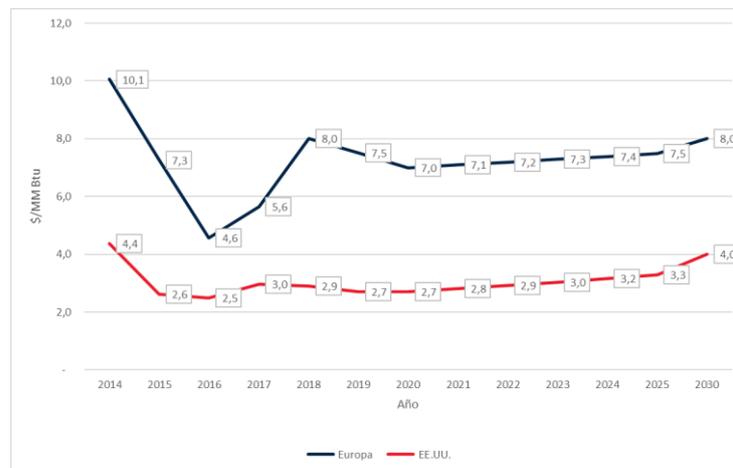


Figura 2.31. Precios del gas natural en Europa y EE.UU. y proyecciones hasta 2030. Elaboración propia a partir de datos del Banco Mundial (proyección a octubre 2018)¹⁶

¹⁵ <https://www.forbes.com/sites/arthurberman/2017/07/05/shale-gas-is-not-a-revolution/#79b56d0531b5>

¹⁶ <http://www.worldbank.org/en/research/commodity-markets#3>

2.3.2.2. Impacto en el PIB (EC3) y afección a otros sectores (EC4).

Impacto en el PIB (EC3).

El producto interior bruto se define como la suma de los consumos, inversiones y variación de existencias, gastos públicos y exportaciones, menos las importaciones totales. Es a groso modo equivalente al valor total añadido por cada sector productivo del país.

En un estudio de la Universidad de Harvard (Porter et al., 2015), se estima que el desarrollo del gas de pizarra en EE.UU. contribuye en más de 430.000 millones de dólares al producto interior bruto anual de EE.UU., lo que supone en el año 2014 aproximadamente un 2.6% del PIB nacional. El impacto económico se puede desglosar en los siguientes:

- Impactos directos: debidos a operaciones industriales directamente relacionadas con el gas de pizarra y costes de inversión (actividades de extracción, empresas de servicios del sector gas de pizarra etc.).
- Impactos de los proveedores: generados por otras industrias en expansión como consecuencia de la demanda de suministro de productos de las industrias directamente relacionadas con la extracción de gas de pizarra.
- Impactos relacionados con el crecimiento del empleo: son los impactos económicos generados por el consumo de la población que trabaja o son proveedores de las industrias de gas de pizarra. Los ingresos del trabajo incluyen las compensaciones del trabajo y los ingresos de los propietarios. Las compensaciones del trabajo incluyen los costes totales del empleador, incluyendo el salario, todos los beneficios (salud o pensiones de retiro) e impuestos del salario como la seguridad social o tasa de desempleo.

Tabla 2.17. Impacto económico del desarrollo del gas de pizarra (Porter et al., 2015)

	2014	2020	2030
Value-added (2012 \$, millions)	\$433,613	\$482,433	\$586,345
Direct	238,929	255,175	291,370
Operation activities	177,015	179,171	189,248
Capital investment activities (CAPEX)	61,913	76,004	102,122
Supplier impacts	78,909	101,459	143,185
Labor income spending impacts	115,776	125,798	151,791

Para valorar el impacto del gas de pizarra en Europa, se tomará como referencia el estudio realizado por Cambridge Econometrics y Pöyry Management Consulting para examinar el impacto de la potencial producción de gas de pizarra, en los precios de la energía y los indicadores macroeconómicos para los países de EU28 en el período entre 2020 y 2050 (Pöyry, 2013). En dicho

estudio se plantean dos escenarios de crecimiento del gas de pizarra en Europa, mostrados en la figura 2.32.

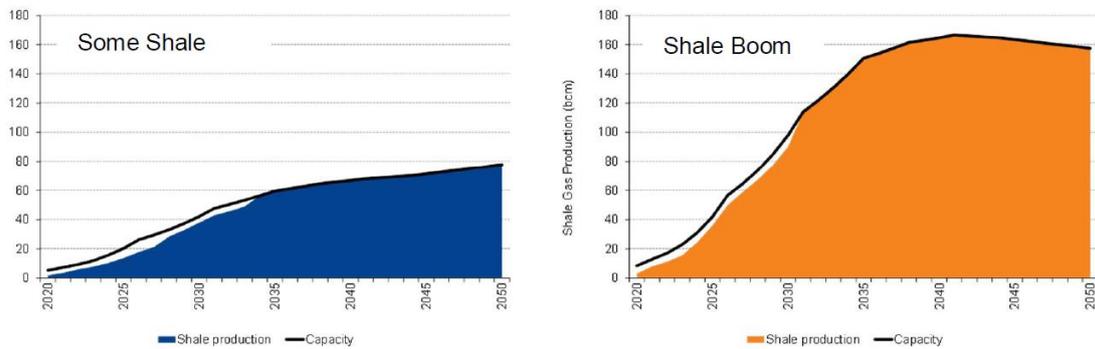


Figura 2.32. Escenarios de desarrollo del gas de pizarra en Europa (Pöyry, 2013).

En el escenario de desarrollo moderado del gas de pizarra, el PIB en Europa se incrementa en 57.000 millones de euros (incremento del 0,3%) y 138.000 millones (incremento del 0,6%) en 2035 y 2050 respectivamente, mientras que en el escenario de desarrollo masivo del gas de pizarra los incrementos son de 145.000 millones (0,8%) y 235.000 millones (1,0% de incremento) en 2035 y 2050, respectivamente.

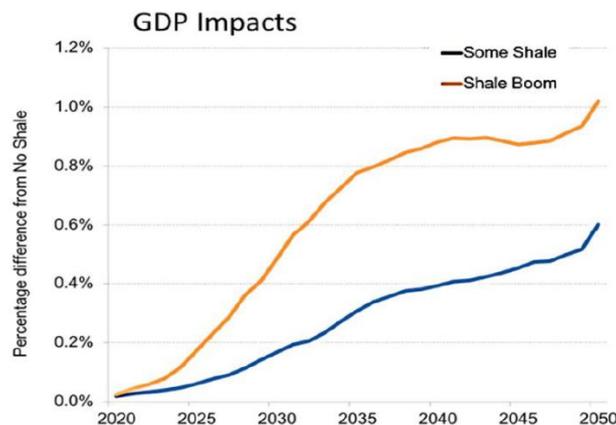


Figura 2.33. Impactos del desarrollo del gas de pizarra en el PIB de EU28 (Pöyry, 2013).

En España, dado que las reservas son muy reducidas (7,795 Tcf, ver apartado 1.5), cercanas al 1% de las reservas de Europa, es previsible que el impacto en el PIB sea reducido. Haciendo la proporción, en el escenario de desarrollo moderado supondría en 2050 un incremento del PIB de 1.380 millones de euros.

Afección a otros sectores (EC4).

- El incremento de los ingresos públicos en impuestos como resultado de la producción de gas, el incremento del empleo y el producto interior bruto, se estiman en el escenario de desarrollo masivo del gas de pizarra en 23.000 millones de euros entre 2035 y 2050 en la Europa de los 28 (Pöyry, 2013).

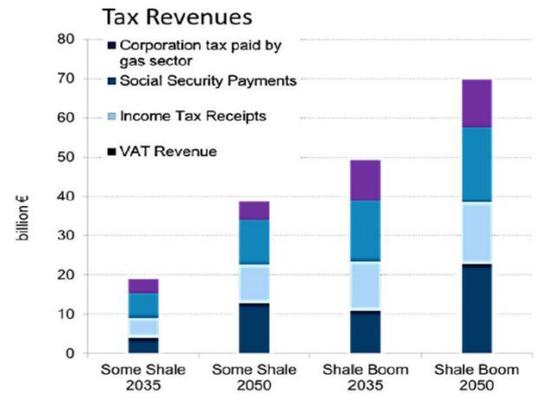


Figura 2.34. Previsión de ingresos públicos por el desarrollo del gas de pizarra en EU28. (Pöyry, 2013).

En España, los ingresos por pozo en impuestos se estiman por el autor en 2.831.098 dólares, para un coste de inversión de 15 millones de dólares y el precio del gas de 10 US\$/MMBtu (ver análisis de viabilidad económica, Anexo III).

- Existe un impacto económico negativo relativo al coste de reparación de las carreteras como consecuencia del deterioro debido al incremento del tráfico causado por el desarrollo del gas de pizarra. Hay que tener en cuenta que solo durante las fases de construcción y desarrollo se estima que se requieren entre 7.000 y 11.000 viajes de camión en un "well-pad" de 10 pozos para el suministro de equipos, y materiales. Durante las fases más intensas de desarrollo, se estiman en 250 viajes por día a un único emplazamiento (Broomfield, 2012). Durante la fase de producción, también se requerirán viajes de camión para recoger el gas producido en cada emplazamiento.
- En relación con la afección de los impactos sobre el medio ambiente en otros sectores económicos, es esperable un impacto negativo en el sector turismo y agricultura-ganadería.
- Los impactos negativos en la ganadería incluyen la pérdida de ganado por la exposición a derrames de aguas residuales de la fracturación hidráulica. Aumenta la dificultad de obtener suministros de agua para las granjas, y puede haber conflictos con la agricultura orgánica. En los cinco condados de Pennsylvania con mayor actividad de fracturación hidráulica (Marcellus Shale), se observó una reducción de la producción de leche entre el 2007 y 2010, del 18,5% (Dutzik et al., 2012).

2.3.3. Inventario de la información socio-política.

2.3.3.1. Creación de empleo (SP1) y efectos sobre la salud (SP2).

Creación de empleo (SP1).

La industria del gas de pizarra tiene un importante efecto multiplicador sobre el empleo. Los puestos de trabajo indirectos e inducidos creados para dar soporte a esta industria se estiman en tres por cada empleo directo (Wang et al., 2014).

Muchos de estos empleos creados serán temporales y frecuentemente son ocupados por trabajadores de fuera de la región, debido a la alta especialización requerida (De Melo et al., 2014).

Por cada millón de dólares invertidos en la producción de energía en EE.UU., la energía eólica y solar crea 9,5 y 9,8 empleos directos e indirectos, respectivamente, frente a los 3,7 empleos creados por el sector del petróleo y gas (De Melo et al., 2014).

Wang et al., 2014 recopila estadísticas de creación de empleo recogidas de varios informes (ver tabla 2.18).

Tabla 2.18. Impacto del gas de pizarra en el empleo en EE.UU. (Wang et al., 2014).

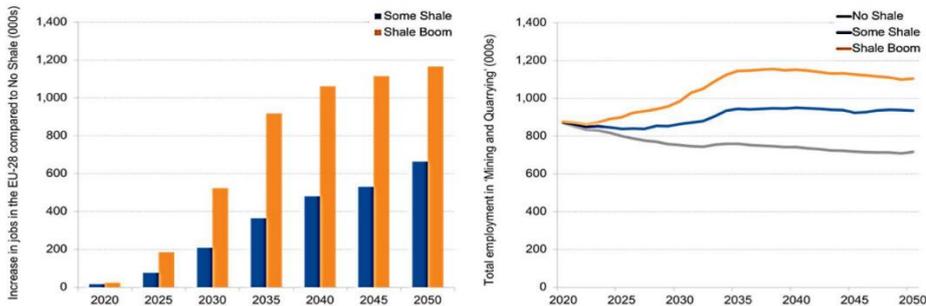
Researchers	Shale play	Main conclusion
CBER, Ref. [261]	Marcellus Shale in Arkansas	Shale gas extraction is estimated to increase gross revenues in the state of Arkansas by \$2.6 billion and generate 9533 jobs in 2007
Considine et al., Ref. [259]	Marcellus Shale in western and northern Pennsylvania	The shale gas extraction industry is responsible for \$2.263 billion in economic activity, the creation of 29,284 jobs, and the payment of \$238.5 million in state and local taxes within the Pennsylvania in 2008
Considine et al., Ref. [262]	Marcellus Shale in western and northern Pennsylvania	(i) The shale gas industry is estimated to have contributed 44,098 jobs to the Pennsylvania economy and paid \$389 million in state and local taxes in 2009. (ii) The economic impact of the shale gas industry is expected to \$18.85 billion in value added, \$1.87 billion in state and local taxes, and nearly 212,000 jobs by 2020
The Permanent Group, Ref. [263]	Barnett in Dallas/Ft. Worth Area	(i) The economic effects of Barnett Shale activity in 2006 was \$6.1 billion in annual output and 60,820 jobs. (ii) The economic effects of Barnett Shale activity in 2007 was \$8.4 billion in output and 83,823 positions. (iii) The economic effects of Barnett Shale activity in 2008 are even higher than in years past, with incremental output of \$11.0 billion and 111,131 jobs
Scott, Ref. [264]	Haynesville in Louisiana	It was estimated that the extraction activity of these seven firms generated approximately \$2.4 billion in new business sales within the state of Louisiana in 2008

Si se consideran los datos oficiales del departamento de empleo de EE.UU., tomando como punto de despegue de la fracturación hidráulica el año 2005 en el que el Gobierno de los Estados Unidos promulgó "The Energy Policy Act" que favorecía la explotación de hidrocarburos mediante fracturación hidráulica, se puede ver que la creación de empleos directos hasta 2015 fue de 75.000, mientras que desde 2015, los empleos en el sector han caído hasta los 150.000 actuales (marzo de 2018), con lo que la creación neta de 2005 a 2018 ha sido de 25.000 empleos directos. Considerando una creación de tres empleos indirectos e inducidos por cada empleo directo, el impacto en creación de empleo en EE.UU. sería entre 2005 y 2018 de 100.000 empleos totales.



Figura 2.35. Empleos en EE.UU. en el sector de extracción de gas y petróleo. Fuente: United States Department of Labor¹⁷

Según Pöyry, 2013, en un escenario de desarrollo moderado del gas de pizarra, el empleo neto se incrementaría en 0,4 millones en toda Europa para 2035 y 0,6 en 2050. En el escenario de desarrollo masivo (“boom del gas de pizarra”), los incrementos serían de 0,8 millones y 1,1 millones respectivamente.



Source: Cambridge Econometrics

Figura 2.36. Creación neta de empleo en EU28 en el sector de minería y canteras (incluyendo industrias de petróleo y gas) (Pöyry, 2013).

En España, las reservas son muy limitadas, por lo que la creación de empleo debida a la fracturación hidráulica se considera reducida. Aplicando el porcentaje de reservas respecto al europeo (1%), la creación de empleo en un escenario de desarrollo moderado sería de 4.000 empleos en 2035 y 6.000 en 2050.

¹⁷ <https://data.bls.gov/pdq/SurveyOutputServlet>

Efectos sobre la salud (SP2).

Los posibles efectos sobre la salud se deben principalmente a los impactos de las emisiones a la atmósfera o al agua. Los primeros causan predominantemente dolores de cabeza y efectos a largo plazo, debidos a los compuestos orgánicos volátiles debidos a emisiones por fugas en válvulas, conducciones, venteos etc. y emisiones desde las balsas de residuos.

La contaminación de las aguas subterráneas puede ser peligrosa cuando los habitantes entran en contacto con agua contaminada. Por ejemplo, cuando los niños pequeños son lavados frecuentemente con agua contaminada, esto puede tener un efecto sobre las alergias y la salud. Además, las balsas de aguas residuales y los fluidos expulsados incontroladamente (blow out) son motivo de preocupación cuando la piel está expuesta (EPA, 2016).

Bolden et al., 2018 concluye que hay evidencia de que contaminantes del aire asociados a la fracturación hidráulica son sustancias activas a nivel endocrino. Los disruptores endocrinos puede actuar en exposiciones a bajas concentraciones, liderando trayectorias aberrantes hacia condiciones subóptimas de desarrollo, conductuales, reproductivas y metabólicas. Sin embargo, la magnitud de las exposiciones específicas de la fracturación hidráulica, y los posibles impactos en la salud a largo plazo, no son bien comprendidos. Además, varios de los productos químicos identificados en el estudio han sido ya designados por la EPA como sospechosos o carcinógenos conocidos, se sabe que causan deficiencias en el desarrollo adverso o efectos reproductivos, y son conocidos por otras toxicidades (por ejemplo, pérdida auditiva y daño a los nervios).

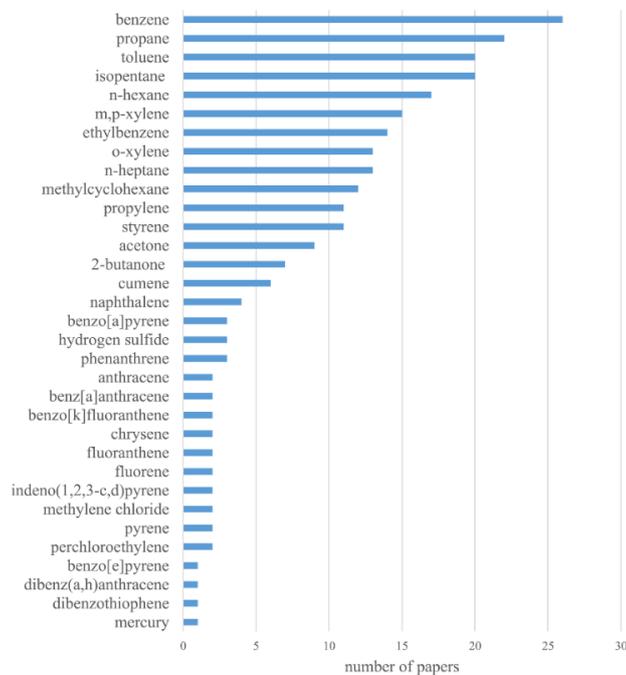


Figura 2.37. Sustancias químicas potencialmente activas a nivel endocrino, y nº de estudios en los que se han identificado en emplazamientos de fracturación hidráulica (Bolden et al., 2018).

En el suroeste de Pennsylvania, y con el fin de determinar las necesidades sanitarias de la población, se llevó a cabo un estudio entre los años 2012 y 2015, basado en la recolección de datos por parte de los enfermeros de familia, sobre pacientes residentes en localidades cercanas a desarrollos de la fracturación hidráulica (Weinberger et al., 2017). Se estudiaron los síntomas de los pacientes que vivían a menos de 1 km de un pozo de gas de pizarra. Los síntomas mostrados son similares a los reflejados en otros estudios, destacando los trastornos del sueño, dolor de cabeza, irritación de la garganta, estrés/ansiedad, tos, falta de respiración, problemas sinusales, fatiga, náuseas y sibilancias.

Tabla 2.19. Síntomas mostrados por residentes a menos de 1 km de un pozo de gas de pizarra (Weinberger et al., 2017).

Symptoms	# Reporting	% Reporting
Sleep disruption	22	43.1%
Headache	21	41.2%
Throat irritation	20	39.2%
Stress/anxiety	19	37.3%
Cough	17	33.3%
Shortness of breath	15	29.4%
Sinus problems	15	29.4%
Fatigue	12	23.5%
Nausea	12	23.5%
Wheezing	11	21.6%
Itchy eyes	11	21.6%
Weak/drowsy	9	17.6%
Abdominal pain	9	17.6%
Irritable moody	9	17.6%
Painful/dry eyes	8	15.7%
Painful joints	8	15.7%
Rash	8	15.7%
Dizziness	8	15.7%
Nose bleeds	7	13.7%
Tinnitus	7	13.7%
Aches	7	13.7%
Memory - short term	7	13.7%
Numbness	7	13.7%
Chest pain	6	11.8%
Hair loss	6	11.8%
Itchy skin	6	11.8%
Worry	6	11.8%
Palpitation	5	9.8%
Skin lesions/blisters	5	9.8%

McKenzie et al., 2012 utilizó la metodología estándar de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) para estimar los índices de peligrosidad no cancerígenos (HI) y los riesgos de cáncer durante toda la vida utilizando escenarios de exposición residencial en proyectos de explotación de gas de pizarra. Se utilizaron datos de tóxicos en el aire recolectados en el Condado de Garfield (Colorado) desde enero de 2008 hasta noviembre de 2010 como parte de un estudio especial de exposiciones a corto plazo, así como datos del programa de monitoreo continuo del aire ambiente para estimar las exposiciones subcrónicas y crónicas y los riesgos para la salud.

El Departamento de Salud Pública del Condado de Garfield recolectó las muestras de una estación de monitoreo fija y a lo largo de los perímetros de cuatro plataformas de pozos y envió muestras al Eastern Research Group para el análisis de 78 hidrocarburos usando el método de compendio de la EPA TO-12, "Método para la Determinación de Compuestos Orgánicos No Metánicos en el Aire Ambiente Usando Preconcentración Cirogénica Preconcentrada y Detección de Ionización de Llama Directa".

Tabla 2.20. Concentraciones crónicas y subcrónicas, efectos críticos, y principales efectos para los hidrocarburos en la evaluación cuantitativa del riesgo (McKenzie et al., 2012).

Hydrocarbon	Chronic		Subchronic		Critical effect/ target organ	Other effects
	RIC (µg/m ³)	Source	RIC (µg/m ³)	Source		
1,2,3-Trimethylbenzene	5.00E+00	PPTRV	5.00E+01	PPTRV	Neurological	Respiratory, hematological
1,3,5-Trimethylbenzene	6.00E+00	PPTRV	1.00E+01	PPTRV	Neurological	Hematological
Isopropylbenzene	4.00E+02	IRIS	9.00E+01	HEAST	Renal	Neurological, respiratory
n-Hexane	7.00E+02	IRIS	2.00E+03	PPTRV	Neurological	-
n-Nonane	2.00E+02	PPTRV	2.00E+03	PPTRV	Neurological	Respiratory
n-Pentane	1.00E+03	PPTRV	1.00E+04	PPTRV	Neurological	-
Styrene	1.00E+03	IRIS	3.00E+03	HEAST	Neurological	-
Toluene	5.00E+03	IRIS	5.00E+03	PPTRV	Neurological	Developmental, respiratory
Xylenes, total	1.00E+02	IRIS	4.00E+02	PPTRV	Neurological	Developmental, respiratory
n-propylbenzene	1.00E+03	PPTRV	1.00E+03	Chronic RIC PPTRV	Developmental	Neurological
1,2,4-Trimethylbenzene	7.00E+00	PPTRV	7.00E+01	PPTRV	Decrease in blood clotting time	Neurological, respiratory
1,3-Butadiene	2.00E+00	IRIS	2.00E+00	Chronic RIC IRIS	Reproductive	Neurological, respiratory
Propylene	3.00E+03	CalEPA	1.00E+03	Chronic RIC CalEPA	Respiratory	-
Benzene	3.00E+01	ATSDR	8.00E+01	PPTRV	Decreased lymphocyte count	Neurological, developmental, reproductive
Ethylbenzene	1.00E+03	ATSDR	9.00E+03	PPTRV	Auditory	Neurological, respiratory, renal
Cyclohexane	6.00E+03	IRIS	1.80E+04	PPTRV	Developmental	Neurological
Methylcyclohexane	3.00E+03	HEAST	3.00E+03	HEAST	Renal	-
Aliphatic hydrocarbons C ₅ -C ₈ ^a	6E+02	PPTRV	2.7E+04	PPTRV	Neurological	-
Aliphatic hydrocarbons C ₉ -C ₁₄	1E+02	PPTRV	1E+02	PPTRV	Respiratory	-
Aromatic hydrocarbons C ₉ -C ₁₄ ^b	1E+02	PPTRV	1E+03	PPTRV	Decreased maternal body weight	Respiratory

Abbreviations: 95%UCL, 95% upper confidence limit; CalEPA, California Environmental Protection Agency; HEAST, EPA Health Effects Assessment Summary Tables 1997; HQ, hazard quotient; IRIS, Integrated Risk Information System; Max, maximum; PPTRV, EPA Provisional Peer-Reviewed Toxicity Value; RIC, reference concentration; µg/m³, micrograms per cubic meter. Data from CalEPA 2011; IRIS (US EPA, 2011); ORNL 2011.

^a Based on PPTRV for commercial hexane.

^b Based on PPTRV for high flash naphtha.

Los resultados del estudio indicaron que los residentes que viven a ≤ 1/2 milla de distancia de los pozos están en mayor riesgo de sufrir efectos sobre la salud que los residentes que viven a > 1/2 a una milla de los pozos. Las exposiciones subcrónicas a contaminantes del aire durante las actividades de finalización de pozos presentan el mayor potencial de efectos sobre la salud.

El índice de riesgo subcrónico no cancerígeno (HI) igual a 5 para los residentes ≤ 1/2 milla de distancia de los pozos fue debido principalmente por la exposición a trimetilbencenos, xilenos e hidrocarburos alifáticos. Los HI crónicos fueron de 1 y 0,4 para los residentes ≤ 1/2 milla de los pozos y > 1/2 milla de los pozos, respectivamente (tabla 2.21).

Para evaluar los HI subcrónicos no cancerígenos de las emisiones de finalización de los pozos, se estimó que un residente vive a ≤ 1/2 millas de dos "pads" lo que resulta en una duración de exposición de 20 meses basada en 2 semanas por pozo para la terminación y 20 pozos por "pad", asumiendo cierta superposición entre las actividades. Las concentraciones de exposición subcrónica para esta población fueron el 95% UCL (límite superior del intervalo de confianza, upper confidence limit) sobre la concentración media y la concentración mediana de las 24 muestras de finalización.

Tabla 2.21. Ratios de peligrosidad crónica y subcrónica e índices de peligrosidad de los residentes que viven a más de media milla de los pozos, y a menos de media milla (adaptada de McKenzie et al, 2012).

HI Type	> 1/2 mile		≤ 1/2 mile	
	Chronic HQ	Subchronic HQ	Chronic HQ	Subchronic HQ
Total Hazard Index	4E-01	2E-01	1E+00	5E+00
Neurological Effects HI^a	3E-01	8E-02	9E-01	4E+00
Respiratory Effects HI^b	2E-02	2E-01	7E-01	2E+00
Hematological Effects HI^c	1E-01	4E-02	5E-01	3E+00
Development Effects HI^d	7E-02	3E-02	3E-01	1E+00

Ratios de peligrosidad basados en un límite superior del intervalo de confianza del 95% de la concentración media.

a Sum of HQs for hydrocarbons with neurological effects: 1,2,3-Trimethylbenzene, 1,2,4-Trimethylbenzene, 1,3,5-Trimethylbenzene, 1,3-butadiene, benzene, cyclohexane, ethylbenzene, isopropylbenzene, n-hexane, n-nonane, n-pentane, n-propylbenzene, styrene, toluene, xylenes, aliphatic C5-C8 hydrocarbons.

b Sum of HQs for hydrocarbons with respiratory effects: 1,2,3-Trimethylbenzene, 1,2,4-Trimethylbenzene, 1,3-butadiene, ethylbenzene, isopropylbenzene, n-nonane, propylene,

toluene, xylenes, aliphatic C9–C18 hydrocarbons, aromatic C9–C18 hydrocarbons.

c Sum of HQs for hydrocarbons with hematological effects: 1,2,3-trimethylbenzene, 1,2,4-trimethylbenzene, 1,3,5-trimethylbenzene, benzene.

d Sum of HQs for hydrocarbons with developmental effects: benzene, cyclohexane, toluene, and xylenes.

Los riesgos acumulativos de cáncer (exposición crónica de 30 años) fueron de 10 en un millón y 6 en un millón para los residentes que viven a $\leq 1/2$ milla y $> 1/2$ milla de los pozos, respectivamente, con el benceno como el principal contribuyente al riesgo (tabla 2.22).

Tabla 2.22. Exceso de riesgo de cáncer para los residentes que viven a más de media milla de distancia de los pozos y que viven a menos de media (McKenzie et al, 2012).

Hydrocarbon	Unit Risk ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Source	$> 1/2$ mile cancer risk	$\leq 1/2$ mile cáncer risk
1,3-Butadiene	3.00E-05	IRIS	5.73E-07	6.54E-07
Benzene	7.80E-06	IRIS	5.4E-06	8.74E-06
Ethylbenzene	2.50E-06	CalEPA	4.26E-07	3.48E-06
Styrene	5.00E-07	CEP	2.70E-08	9.30E-08
Cumulative cancer risk			6E-06	1E-05

Riesgo de cáncer basado en un límite superior del intervalo de confianza del 95% de la concentración media.

La conclusión es que los enfoques de gestión de riesgos deben centrarse en la reducción de la exposición a las emisiones durante la finalización de los pozos.

Según Elliot et al., 2016, en las zonas donde se desarrolla la fracturación hidráulica se han identificado 55 compuestos químicos con posible, probable o conocido carácter carcinogénico (20 compuestos asociados con leucemia y/o linfoma), estos compuestos están asociados al agua y/o contaminantes del aire. El citado estudio avala la hipótesis de que la exposición a dichos compuestos en actividades de fracturación hidráulica puede incrementar el riesgo de leucemia, aunque señala que se requiere una mayor investigación en particular sobre el riesgo de leucemia infantil en dichas zonas.

El Departamento de Salud del Estado de New York publicó un informe (Department of Health, New York State, 2014) sobre el impacto en la salud del fracturación hidráulica, llegando a la conclusión de que la información científica disponible es insuficiente; no obstante de la literatura existente y la experiencia acumulada hasta la fecha se concluye la existencia de impactos ambientales potencialmente adversos para la salud pública que aconsejan una moratoria en el desarrollo del fracturación hidráulica en el Estado de NY hasta disponer de información que determine el nivel de riesgo para la salud pública y si el riesgo puede ser gestionado adecuadamente.

En el informe, se citan efectos potencialmente asociados a la fracturación hidráulica como irritación y erupciones cutáneas, náuseas o vómitos, dolor abdominal, dificultades respiratorias, tos,

hemorragias nasales, ansiedad, estrés, dolor de cabeza, mareos, irritación ocular, irritación de garganta, bajo peso en recién nacidos, y algunas malformaciones congénitas.

Peng et al., 2018 ha investigado los impactos de salud del desarrollo del gas de pizarra en Marcellus Shale (Pennsylvania) entre 2001 y 2013, buscando una relación entre los permisos de explotación de pozos y las admisiones hospitalarias. A través de un análisis de regresión se comparan los cambios en las tasas de hospitalización por enfermedades relacionadas con la contaminación atmosférica en los condados con pozos de gas no convencionales a los cambios en las tasas de hospitalización en los condados sin pozos de gas de pizarra. Se ha encontrado asociaciones significativas entre el desarrollo del gas de pizarra y las hospitalizaciones para el infarto agudo de miocardio (incremento de un 24% entre adultos jóvenes), la neumonía (incremento 8,5% entre ancianos) y las infecciones respiratorias superiores (incremento del 17% entre ancianos). Este aumento en las enfermedades es consistente con la existencia de niveles de contaminación más elevados provocados por el desarrollo del gas de pizarra.

Algunas sentencias de los tribunales han dado la razón a los demandantes que argumentaban daños en la salud debido a la contaminación generada en las operaciones del gas de pizarra. Podemos citar las siguientes:

- Veredicto de abril de 2014 de un jurado de Dallas, condenando a 2,9 MM.US\$ a Aruba Petroleum por contaminación del aire en el condado de Wise en Texas. Se denunciaron molestias como dificultades respiratorias, náuseas, sangrado nasal, acúfenos y erupciones cutáneas debido a la emisión de COVs.
- Condena de 4,2MM\$ a Cabot Oil&Gas de un jurado de Pennsylvania, por contaminación del agua de consumo debido a una perforación de gas de pizarra en Dimock,P.A., provocando vómitos, náuseas y erupciones cutáneas.

2.3.3.2. Percepción social (SP3), falta de regulación (SP4) y pérdida o ganancia patrimonial (SP5).

Percepción social (SP3).

Boudet et al., 2018 realizó un estudio en relación con la aceptación social de la fracturación hidráulica en EE.UU. encontrando que las personas que viven más cerca de los sitios con pozos de gas de pizarra están familiarizados con la tecnología y pueden percibir beneficios económicos, pero con una mayor densidad de los pozos, también pueden notar los riesgos ambientales y las implicaciones sociales de la fractura hidráulica.

Investigadores de la Universidad de Pittsburg han realizado un estudio (Ferrar et al., 2013) sobre la percepción de los impactos sobre la salud y los estresores psicosociales en el área de

Marcellus Shales. Los encuestados relataron hasta 59 impactos en la salud diferentes y 13 estresores físicos (como ruido, olores, impacto lumínico) o psicosociales, atribuibles al desarrollo de la fracturación hidráulica en la zona.

Los estresores más importantes tienen carácter psicosocial, entre los que destacan la preocupación por la salud, las quejas ignoradas, la corrupción o la denegación de información o suministro de información falsa.

Teniendo en cuenta que la Organización Mundial de la Salud define "salud" como el estado completo de bienestar físico y social que tiene una persona, el artículo concluye que la percepción de la salud puede verse afectada con independencia de si es impacto es debido a la exposición directa de agentes físicos y químicos o bien a estresores psicosociales identificados.

En una encuesta realizada en Reino Unido sobre una muestra 1.457 participantes, sobre la percepción pública de la fracturación hidráulica (Whitmarsh et al., 2015), se encontró una considerable ambivalencia al respecto, pero mostrando una mayor conciencia sobre los riesgos potenciales que sobre los beneficios.

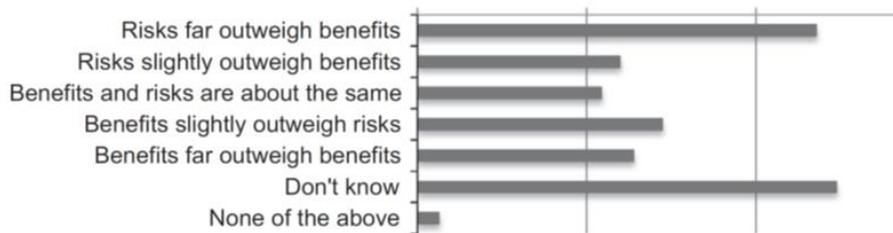


Figura 2.38. Percepción de riesgos vs. Beneficios en la explotación del gas de pizarra en Reino Unido (Whitmarsh et al., 2015).

La Dirección General de Medio Ambiente de la Comisión Europea realizó en 2013 una encuesta pública on-line sobre el desarrollo en Europa de los combustibles fósiles no convencionales, en particular el gas de pizarra (Cohen et al., 2013). Sobre una muestra de 22.875 participantes, incluyendo 753 instituciones, destaca el elevado número de respuestas procedentes de Polonia, Francia, Rumanía, España y Alemania, lo que refleja la presencia activa de debate público en dichos países.

En relación con las respuestas obtenidas en España de los encuestados particulares, se concluye que el 80% de los mismos consideran que no se debe realizar fracturación hidráulica en Europa.

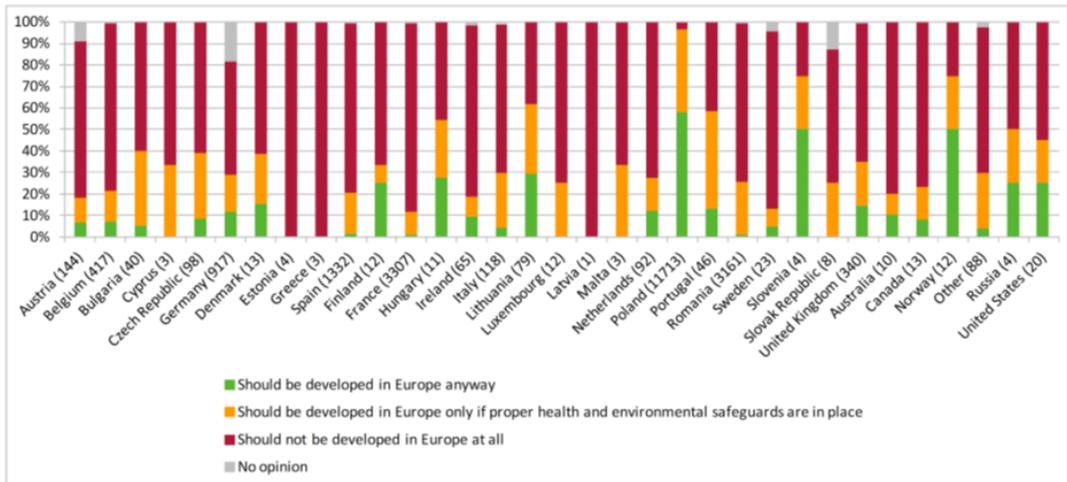


Figura 2.39. Opinión de particulares sobre el desarrollo de combustibles no convencionales en Europa. Datos por país (Cohen et al., 2013).

En relación con los cambios mayores o significativos que supondría el desarrollo de la fracturación hidráulica en Europa, en el citado informe una media del 50% de los encuestados en Europa indican cambios significativos en numerosos aspectos, entre ellos los aspectos ambientales.

Organizaciones ambientalistas y no gubernamentales y organizaciones Intergubernamentales tienen la mayor cuota de cambios significativos entre 80-90% media.

Entre las instituciones académicas, la industria y las asociaciones de comercio esta proporción se reduce a un valor medio entre 30-40%.

Por países destaca España con más del 80% de encuestados que consideran que existirán cambios significativos.

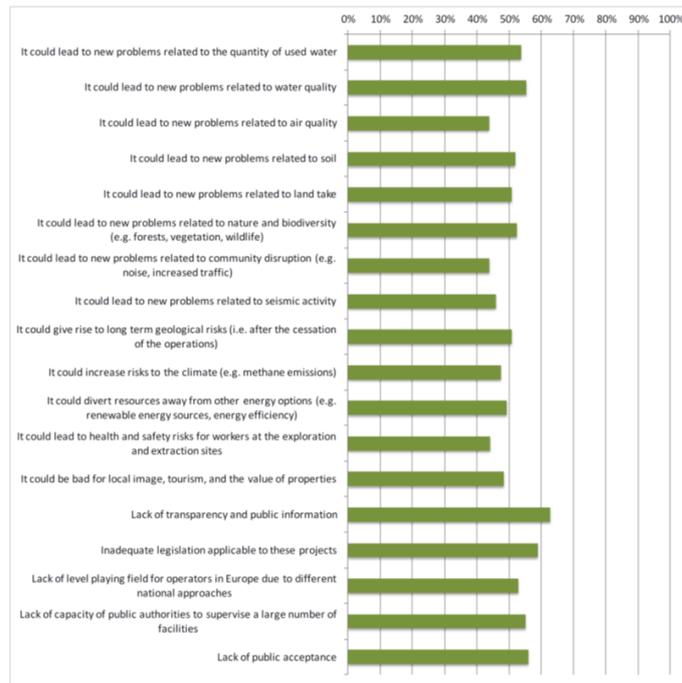


Figura 2.40. Porcentaje de los encuestados particulares que consideran que la fracturación hidráulica supondrá cambios mayores o significativos. Porcentaje por cada tema (Cohen et al., 2013).

En la figura 2.41 se muestra el resultado de una encuesta realizada en España en 2016 sobre 6.357 encuestados de las 17 comunidades autónomas sobre los beneficios de la aplicación del fracturación hidráulica, resultando que únicamente un 7,8% de los encuestados consideraba que la aplicación de esta técnica podría ser beneficiosa para la sociedad (el porcentaje más bajo de todas las aplicaciones científicas más controvertidas).



Figura 2.41. Percepción social de la fracturación hidráulica en España según la VIII encuesta sobre percepción social de la ciencia y tecnología (FECYT, 2017).

En relación con la percepción social del fracturación hidráulica, caben destacar las leyes que prohíben dicha técnica aprobadas por las Comunidades Autónomas de La Rioja, Navarra, Cataluña, Cantabria, anuladas por el Tribunal Constitucional al invadir competencias del Estado, la proposición no de Ley presentada por Andalucía, y la ley de medidas de protección medioambiental para la fractura hidráulica aprobada por el País Vasco que eleva los requisitos para realizar dicha técnica permitiendo el veto de dicha técnica, y anulada por el Tribunal Constitucional. Castilla la Mancha aprobó una ley que limita la fracturación hidráulica, que ha sido avalada por el Tribunal Constitucional. Así mismo, son numerosos los municipios que han aprobado mociones contra la fracturación hidráulica.

Falta de regulación (SP4).

La regulación ambiental juega un papel importante en relación con el establecimiento de medidas preventivas y de mitigación para reducir los impactos ambientales de la fracturación hidráulica.

Un ejemplo de medidas exigibles mediante regulación es la mitigación de las emisiones de metano, durante la fase de finalización, "well completion", usando "Green completion configurations". Mediante el uso de equipos avanzados se separa el gas natural del agua de flowback y la arena, siendo enviado el primero a la línea de transporte. Mediante este sistema, las emisiones son menores del 0,01% (2-3 miles de pies cúbicos, Mcf) de las emisiones potenciales estimadas (22 Mcf-54.000 Mcf, emisiones con venteo total durante flowback), Jackson et al., 2014.

Las nuevas normas EPA exigen, a partir de 2015, la realización de "Green completions", donde sea técnicamente viable, y controles en los tanques de almacenamiento de petróleo y condensados. Estas medidas regulatorias reducen significativamente las emisiones de COVs.

La integridad del pozo puede verse así mismo reforzada mediante medidas regulatorias, que también pueden regular las actividades desarrolladas en superficie, o cerca de la superficie, como los fallos en pozos, gestión de aguas residuales, fugas y derrames, ya que diversas investigaciones sobre contaminación de las aguas subterráneas sugieren que la mayoría de los incidentes tienen su origen en las actividades superficie (Jackson et al., 2014).

Angeles, 2018 explora los posibles mecanismos para reforzar la regulación para prevenir los efectos negativos de la fracturación hidráulica, proponiendo un modelo que incorpore una variedad de métodos, incluido el aumento de la aplicación penal estableciendo justicia y disuasión.

Un marco de aplicación ideal para la disuasión efectiva debería centrarse en la transparencia, la flexibilidad, la delegación de confianza y la proporcionalidad.

Pérdida o ganancia patrimonial (SP5).

En la valoración de la pérdida o ganancia patrimonial hay que considerar dos efectos: la pérdida o ganancia en el valor de la propiedad y los ingresos o royalties derivados de la explotación del recurso existente en el subsuelo de una propiedad.

En relación con la pérdida o ganancia derivada del valor de la propiedad, Muehlenbachs et al., 2015 realizó un estudio con datos de Pennsylvania, del que se obtienen las siguientes conclusiones:

- El impacto del desarrollo del gas de pizarra en el entorno depende de cuál es la fuente de suministro de agua, si el pozo está en fase de producción o no, y la visibilidad del pozo desde la propiedad.
- Existen impactos negativos importantes en viviendas cercanas (1-1,5 km) a los pozos si dichas viviendas son dependientes del agua subterránea para su suministro. Las pérdidas de valor debidas al riesgo real de contaminación en este caso, o a la percepción del mismo varían entre el 9,9-16,5%. Entre los años 2011 y 2012 se apreció una pérdida media por vivienda de 30.167 US\$.
- En el caso de que el suministro de agua se realice por canalización se aprecia un impacto neto positivo pequeño en el valor, debido a los pagos por arrendamiento y los royalties, o expectativas de los mismos, de los pozos en producción. En estos casos, para la capitalización de estas ganancias es necesario que los pozos se encuentren ligeramente alejados de las viviendas y siempre que éstos no sean visibles desde la propiedad.
- Este pequeño incremento del precio se da para los pozos en producción, cuyos impactos son menores al haber finalizado las fases de perforación, fracturación con las consiguientes molestias como ruido y contaminación lumínica, siendo cuantificado en una media de 4.802 US\$ en propiedades dentro del radio de los 1,5 km del pozo.

La ganancia patrimonial debida a los ingresos por la explotación del recurso existente en la propiedad viene determinada en España por la Ley 8/2015, de 21 de mayo, por la que se modifica la Ley 34/1998, de 7 de octubre, del Sector de Hidrocarburos, y por la que se regulan determinadas medidas tributarias y no tributarias en relación y con la exploración, investigación y explotación de hidrocarburos. En dicha norma se establece un pago a los propietarios del 1% del valor monetario de la cantidad de hidrocarburos extraído, proporcionalmente a la superficie de la propiedad en relación con la superficie afectada por el pozo.

Suponiendo una producción media de 3,25 bcf de gas en 25 años (Weijermars, 2013), y un precio medio del gas de diez dólares por cada millón de Btu, el valor monetario correspondiente al 1% serían 327.600 US\$ que debe ser repartido proporcionalmente a la superficie. Así, suponiendo una densidad de 1,15 pozos por km² (Lechtenböhrer et al., 2011), un propietario con una parcela de 10.000 m² tendría unos ingresos del 1,15% del valor total del recurso, lo que equivale a 3.767,4

US\$. Es evidente que los pequeños propietarios no podrán compensar con royalties la pérdida de valor debida a los impactos de la explotación.

2.3.4. Inventario de la información tecnológica.

2.3.4.1. Experiencia, dependencia tecnológica, infraestructuras (T1).

En Europa existe una dependencia tecnológica respecto a EE.UU. para el desarrollo de la fracturación hidráulica. Mientras que en el continente europeo existen menos de 50 plataformas de perforación on-shore para el desarrollo del gas y petróleo de pizarra, en EEUU existen 2000. Por otra parte, las diferentes regulaciones entre los miembros de la Unión pueden dificultar la importación de equipos entre los Estados miembros (Ernst & Young, 2011).

Las infraestructuras presentan en algunos países europeos otra barrera importante para el desarrollo del gas de pizarra, ya que se requieren inversiones significativas para el transporte de gas para ser capaces de absorber el aumento de flujo provocado por el desarrollo del gas de pizarra. En Europa, estas infraestructuras están muchas veces controladas por grandes compañías nacionales y gobernadas por regulaciones a nivel nacional. Así, los suministradores pueden tener la capacidad restringida por contratos de reserva de capacidad a largo plazo (Ernst & Young, 2011).

Se requieren conexiones a través de las fronteras para hacer posible la exportación del gas producido. Otros requisitos de infraestructuras incluyen (Ernst & Young, 2011):

- Nuevos accesos rodados.
- Acceso a suministros de agua.
- Instalaciones de tratamiento de aguas residuales.
- Instalaciones de procesado de gas.
- Capacidad de almacenamiento de gas.

La tecnología aplicada afecta directamente a los impactos ambientales. Así, la utilización de los últimos avances en sellado de pozos, inspección de los mismos, depuración de los gases en la fase de flowback, gestión adecuada de las aguas del flowback, redundan en una reducción del riesgo de contaminación de acuíferos, aguas superficiales y emisiones a la atmósfera.

La aplicación de nuevas tecnologías puede aportar en el futuro mejoras ambientales sustanciales en el desarrollo de los trabajos de fracturación hidráulica. Cabría citar las siguientes:

- Fracturación mediante gas propano en vez de agua. Tecnología desarrollada por GASFRAC Energy Services, en la que el propano, junto con una combinación de sustancias como el óxido de magnesio y el sulfato férrico sustituye al agua en la fase de fracturación hidráulica.

Entre los beneficios destacables, el gel retiene la arena mejor que el agua. Se requiere menos cantidad (1/8), y unas tasas de bombeo menores debido a la menor viscosidad y tensión superficial. Se reducen así mismo los costes de transporte y emisiones asociadas debido al menor peso específico. Así mismo, el propano se mezcla con los gases y se recupera en la fase de flowback. Por otra parte, se elimina la necesidad de almacenamiento, transporte y gestión de las aguas residuales. El propano no es reactivo con la formación por lo que no fluyen a superficie elementos radiactivos.

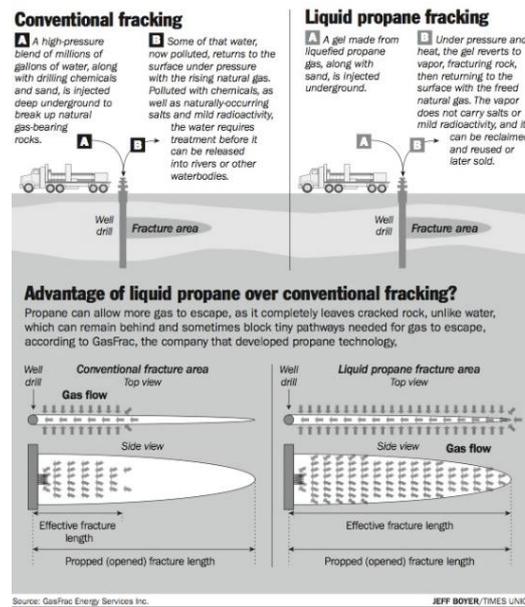


Figura 2.42. Fracturación mediante propano licuado. Recuperado de web el 6/3/2017.¹⁸

- Desarrollo de agentes aditivos químicos menos peligrosos, y el desarrollo de aditivos que reduzcan la fricción para permitir el uso de aguas grises o salmueras procedentes de acuíferos salinos.
- Utilización del gas natural en los equipos de perforación y fracturación (bombas diésel), con la reducción de emisiones a la atmósfera de gases contaminantes, y un 40% los costes¹⁹.
- Utilización de Sand Castle vertical storage (silos de almacenamiento de arena), gestionados mediante energía solar²⁰.

¹⁸ <https://insideclimatenews.org/print/12241>

¹⁹ Apache Corporation http://www.apachecorp.com/News/Articles/View_Article.aspx?Article.ItemID=2957

²⁰ <https://www.greenandgrowing.org/alternative-solutions-to-fracking/>



Figura 2.43. Fracturación “seca”, utilizando gas. Fuente Gas-Frac²¹

- La aplicación de la tecnología tiene así mismo un papel fundamental en la inspección de la integridad del pozo y en la detección de fugas de metano en las instalaciones. La utilización de cámaras infrarrojas es útil a la hora de detectar las fugas difusas de metano para su sellado.
- Un aspecto importante en los impactos ambientales se deriva de la gestión de los fluidos de fracturación (flowback). Se están ensayando a escala piloto la utilización de la tecnología de destilación mediante membranas, en la que se combina calor y reducción de presión para vaporizar el agua, usando membranas para separar el vapor de agua pura de la sal²².

La dependencia tecnológica afecta de forma relevante a los factores económicos como la rentabilidad (EC1). Como ya se mencionó en el apartado 2.3.2.1, la falta de experiencia y de tecnología en Europa hace que los costes de perforación sean de 2 a 4 veces superiores que en EE.UU. En España los costes de un pozo, incluyendo la fracturación puede rondar los 25 MM €, de 3.5 a 5 veces los costes en EE.UU. (Cámara et al., 2013), siendo el factor determinante de la rentabilidad, junto con el precio del gas.

2.3.4.2. Condiciones geológicas-reservas (T2).

El índice exploratorio del territorio español se puede evaluar como bajo, en relación con los países europeos de nuestro entorno. Además, la tendencia histórica de perforación de sondeos exploratorios por décadas en España manifiesta una progresiva y fuerte disminución desde la década de los años 80 hasta la actualidad (Gessal-Aciep, 2013).

²¹ <https://cen.acs.org/articles/92/i19/New-Way-Fracking.html>.

²² <https://www.waterworld.com/articles/2013/09/membrane-distillation-process-proves-success-for-fracking-wastewater.html>

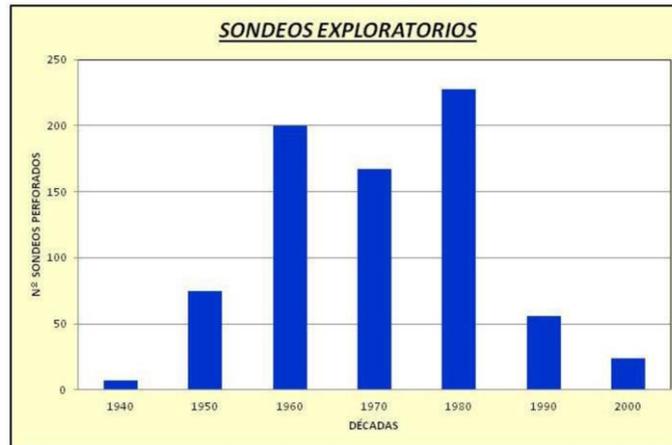


Figura 2.44. Número de sondeos exploratorios en España, por décadas (Gessal-Aciep, 2013).

La falta de investigación hace que existan grandes incertidumbres sobre las reservas de los yacimientos no convencionales y su configuración geológica.

Parece evidente que unas mayores reservas implicarán un aumento de los impactos sobre el medio ambiente debidos a las fugas de gases y al aumento en la generación de residuos. El uso de recursos será más intensivo y la probabilidad de accidentes aumentaría.

Las reservas también influyen de forma sustancial sobre los aspectos económicos y socio-políticos. Así, unas reservas pequeñas pueden dar lugar a que los proyectos sean o no rentables y se implante (o no) la fracturación hidráulica en España. Este hecho impactará sobre la economía de otros sectores, la generación de empleo, los impactos sobre la salud etc.

Las condiciones geológicas también influyen en los aspectos ambientales, económicos y socio-políticos ya que un aumento en la profundidad del recurso implica mayor uso de recursos y los aumentos de costes de perforación que implican disminución de la rentabilidad.

2.4. Evaluación de la sostenibilidad atendiendo a los criterios de valoración del autor.

Aplicando la metodología ANP-Fuzzy explicada en el apartado 2.3, a continuación, se va a determinar la prioridad de los factores de sostenibilidad de la fracturación hidráulica en España.

2.4.1. Comparación de criterios intra-clúster con lógica difusa.

En este apartado se va a aplicar la metodología ANP-Fuzzy para determinar el ranking de importancia de los criterios (factores de sostenibilidad) pertenecientes a un único clúster, teniendo en cuenta únicamente las relaciones internas de estos elementos.

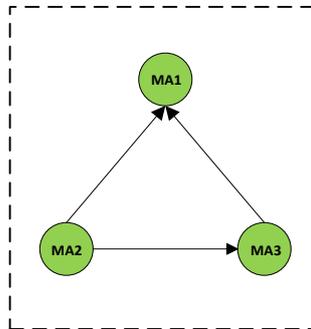
Comparación de criterios ambientales.

Se van a considerar las relaciones entre los siguientes criterios ambientales con el fin de determinar el ranking de prioridad entre estos elementos:

MA1: Impactos ambientales.

MA2: Uso de recursos.

MA3: Otros impactos.



La matriz de relaciones es la siguiente:

MEDIO AMBIENTALES			
	MA1	MA2	MA3
MA1	0	0	0
MA2	1	0	1
MA3	1	0	0

Los juicios emitidos por el autor sobre las influencias de los criterios MA2 y MA3 sobre MA1 se expresan en términos lingüísticos (ver tabla 2.5) en la siguiente matriz:

MA1	MA2	MA3
MA2	EQ	RVS
MA3	VS	EQ

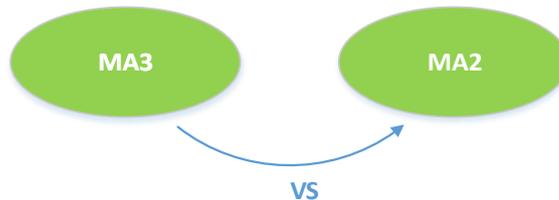
Dichos juicios en forma de términos lingüísticos equivalen (ver tabla 2.5) a los números Fuzzy reflejados en la en la siguiente matriz. Debajo de la misma se muestra el vector prioridad que se obtiene mediante la aplicación del método de programación de preferencias explicado en el apartado 2.3 y cuya programación mediante Matlab se transcribe en el Anexo I.

Los resultados indican que "otros impactos" (MA3) influye en un 87,5% en los impactos ambientales (MA1), mientras que el "uso de recursos" (MA2) lo hace en un 12,5%. El tercer componente del vector de sostenibilidad es el índice de consistencia, que en este caso indica una consistencia total en los juicios al ser igual a la unidad.

MA1	MA2	MA3
MA2	1,1,1	1/9,1/7,1/5
MA3	5,7,9	1,1,1

X=(0.1250,0.8750,1.0000)

A continuación, se muestra el método gráfico utilizado por el autor para la mejora de la consistencia de los juicios, especialmente útil cuando están en juego más de dos criterios en la matriz de comparaciones.



Se expone a continuación la justificación de los juicios emitidos (basados en el inventario de información ambiental).

Se ha considerado que sobre las cargas ambientales tiene una importancia fuerte MA3 (otros impactos sobre el ambiente) respecto a MA2 (uso de recursos), debido a que los impactos sobre la atmósfera y el agua en situaciones de accidentes (ver apartado 2.3.1.3) son muy relevantes. El uso de recursos es similar al derivado de la explotación de recursos convencionales, a excepción del recurso hídrico.

Se repite el proceso con el resto de los criterios del clúster ambiental. En este caso, sólo existe otra influencia de MA2 sobre MA3, por lo que el peso de este primer factor sobre el segundo será igual a la unidad.

MA3	MA2
MA2	EQ

Ranking de importancia de criterios ambientales.

Matriz original:

		MEDIO AMBIENTALES	
		MA1	MA3
MA2		0.125	1
MA3		0.875	0

Supermatriz límite (obtenida tras elevarse a la potencia 128):

		MEDIO AMBIENTALES	
		MA1	MA3
MA2		0.533	0.533
MA3		0.4667	0.4667

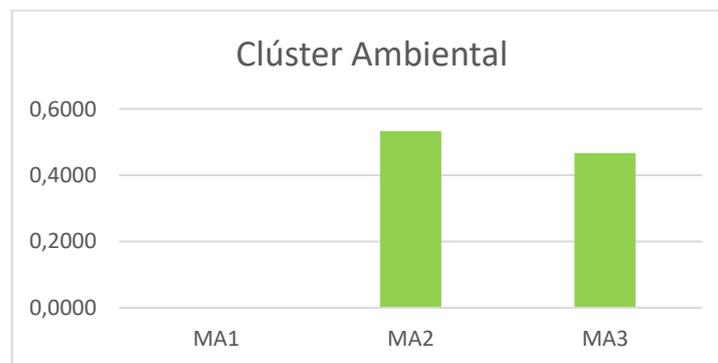


Figura 2.45. Ranking de prioridad de criterios del clúster ambiental.

Comparación de criterios económicos.

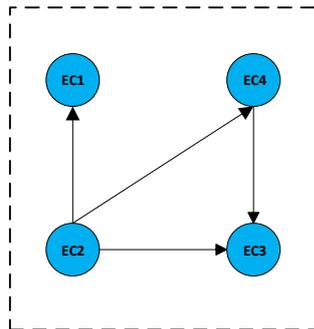
Se van a considerar las relaciones entre los siguientes criterios económicos con el fin de determinar el ranking de prioridad entre estos elementos:

EC1: Rentabilidad.

EC2: Precio del gas.

EC3: Impacto en el PIB.

EC4: Afección a otros sectores.



La matriz de relaciones es la siguiente:

ECONÓMICOS				
	EC1	EC2	EC3	EC4
EC1	0	0	0	0
EC2	1	0	1	1
EC3	0	0	0	0
EC4	0	0	1	0

Los juicios emitidos por el autor sobre las influencias sobre EC1 se expresan en términos lingüísticos (ver tabla 2.5) en la siguiente matriz:

EC1	EC2
EC2	EQ

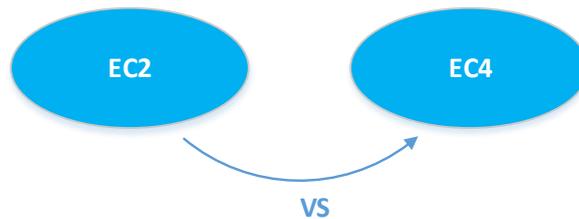
Los juicios emitidos por el autor sobre las influencias sobre EC3 se expresan en términos lingüísticos en la siguiente matriz:

EC3	EC2	EC4
EC2	EQ	VS
EC4	RVS	EQ

Dichos juicios en forma de términos lingüísticos equivalen (ver tabla 2.5) a los números Fuzzy reflejados en la en la siguiente matriz. Debajo se muestra el vector prioridad.

EC3	EC2	EC4
EC2	1,1,1	5,7,9
EC4	1/9,1/7,1/5	1,1,1

X= (0.8750,0.1250,1.0000)



Se ha considerado que el precio del gas (EC2) tiene una importancia fuerte respecto a la afección a otros sectores (EC4) en relación con la influencia sobre el impacto en el PIB (EC3). Hay que considerar que, aunque un hipotético crecimiento económico derivado de la industria auxiliar de la fracturación hidráulica tendrá un impacto positivo en el PIB español, en el apartado 2.3.2.2. para el caso americano se observa que el mayor impacto en la economía es el directo. En España, se considera que el impacto derivado (otros sectores) será mucho más limitado aún debido a las limitadas reservas existentes. Por tanto, influirá sobre el PIB principalmente el precio del gas natural directamente relacionado con los ingresos del sector y la rentabilidad.

En el caso de las influencias sobre EC4, únicamente tiene un componente (EC2) por lo que no se requiere el cálculo del vector prioridad.

EC4	EC2
EC2	EQ

Ranking de importancia de criterios económicos.

Matriz original:

ECONÓMICOS			
	EC1	EC3	EC4
EC2	1.0000	0.8750	1.0000
EC3	0.0000	0.0000	0.0000
EC4	0.0000	0.1250	0.0000

Supermatriz límite (converge elevando a la potencia 2):

ECONÓMICOS			
	EC1	EC3	EC4
EC2	1.0000	1.0000	1.0000
EC3	0.0000	0.0000	0.0000
EC4	0.0000	0.0000	0.0000

Realizando la convergencia a través del software Super Decisions²³ se obtienen valores similares (tomaremos estos valores):

The screenshot shows the 'Super Decisions Main Window' with a table titled 'Here are the priorities.' The table has four columns: 'Icon', 'Name', 'Normalized by Cluster', and 'Limiting'. The data rows are as follows:

Icon	Name	Normalized by Cluster	Limiting
No Icon	ec1	0.00000	0.000000
No Icon	ec2	0.94444	0.944444
No Icon	ec3	0.00000	0.000000
No Icon	ec4	0.05556	0.055556

Figura 2.46. Ranking de prioridad de criterios del clúster económico según Super Decisions.

²³ <https://www.superdecisions.com/>

Criterios socio-políticos.

Se van a considerar las relaciones entre los siguientes criterios socio-políticos con el fin de determinar el ranking de prioridad entre estos elementos:

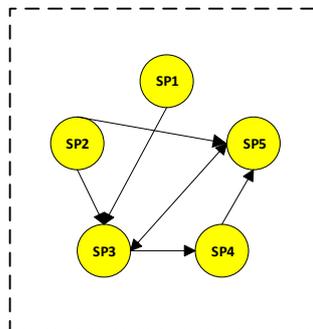
SP1: Creación de empleo.

SP2: Afección a la salud.

SP3: Percepción social.

SP4: Falta de regulación.

SP5: Pérdida o ganancia patrimonial.



La matriz de relaciones es la siguiente:

SOCIO-POLÍTICOS					
	SP1	SP2	SP3	SP4	SP5
SP1	0	0	1	0	0
SP2	0	0	1	0	1
SP3	0	0	0	1	1
SP4	0	0	0	0	0
SP5	0	0	1	0	0

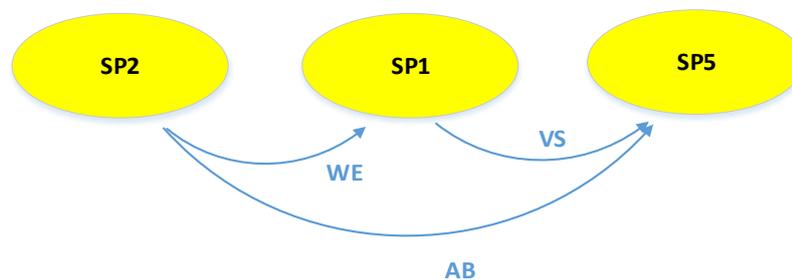
Los juicios emitidos por el autor sobre las influencias sobre SP3 se expresan en términos lingüísticos (ver tabla 2.5) en la siguiente matriz:

SP3	SP1	SP2	SP5
SP1	EQ	REW	VS
SP2	WE	EQ	AB
SP5	RVS	RAB	EQ

Dichos juicios en forma de términos lingüísticos equivalen (ver tabla 2.5) a los números Fuzzy reflejados en la en la siguiente matriz. Debajo se muestra el vector prioridad.

SP3	SP1	SP2	SP5
SP1	1,1,1	1/5,1/3,1	5,7,9
SP2	1,3,5	1,1,1,	7,9,11
SP5	1/9,1/7,1/5	1/11,1/9,1/7	1,1,1

$$X=(0.3609,0.5803,0.0588,0.5673)$$



Se considera que la afección a la salud (SP2) es el principal factor que afecta a la percepción social de la fracturación hidráulica en sentido negativo, debido a la presencia de contaminantes en el aire y el agua, la mayoría de ellos peligrosos, que pueden potencialmente provocar diversas afecciones incluidas cáncer. Esta percepción social es importante a pesar de que el número de estudios de salud es aún limitado. Sin embargo, en España, y debido al alto nivel de paro sistémico, la creación de empleo (SP1) es ligeramente menos importante que la salud en la percepción social, ya que la sociedad tiene esperanza (al menos así se promociona la técnica de la fracturación hidráulica por algunos sectores) que el gas de pizarra cree un elevado número de puestos de trabajo.

Sin embargo, esta percepción es más un deseo que una realidad, ya que la creación de empleo en España, como se ha explicado anteriormente se puede estimar en 4.000 empleos en 2035 para un desarrollo moderado del gas de pizarra. La distancia de estos dos factores (SP2 y SP1) en importancia a la pérdida o ganancia patrimonial (SP5) es muy grande por lo que se ha considerado VS respecto a SP1 (importancia muy fuerte) y AB respecto a SP2 (importancia absoluta).

Respecto a la influencia sobre SP4, únicamente hay un elemento en la matriz de relaciones (SP3), por lo que no es necesario calcular el vector prioridad.

SP4	SP3
SP3	EQ

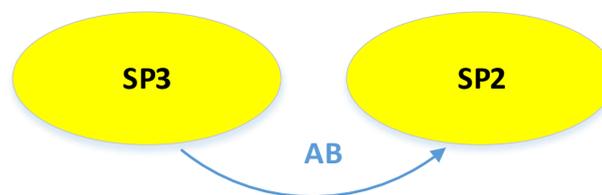
Los juicios emitidos por el autor sobre las influencias sobre SP5 se expresan en términos lingüísticos en la siguiente matriz:

SP5	SP2	SP3
SP2	EQ	RAB
SP3	AB	EQ

Dichos juicios en forma de términos lingüísticos equivalen a los números Fuzzy reflejados en la en la siguiente matriz. Debajo se muestra el vector prioridad.

SP5	SP2	SP3
SP2	1,1,1	1/11,1/9,1/7
SP3	7,9,11	1,1,1

$$X=(0.1000,0.9000,1.0000)$$



En relación con la influencia sobre la pérdida o ganancia patrimonial, los factores sociales afectan a la pérdida de valor de las propiedades debido principalmente a la percepción social sobre la misma (SP3) más que a la afeción sobre la salud cuyo número de estudios sobre dicha

influencia es limitado y sobre todo desconocido para la población en general. Se considera que SP3 influye absolutamente respecto a SP2, en su afeción sobre SP5.

Ranking de importancia de socio-políticos.

Matriz original:

SOCIO-POLÍTICOS					
	SP1	SP2	SP3	SP4	SP5
SP1	0,0000	0.0000	0.3609	0.0000	0.0000
SP2	0,0000	0.0000	0.5803	0.0000	0.1000
SP3	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.9000
SP4	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
SP5	0.0000	0.0000	0.0588	0.0000	0.0000

Supermatriz límite:

SOCIO-POLÍTICOS					
	SP1	SP2	SP3	SP4	SP5
SP1	0.0000	0.0000	0.1804	0.1804	0.1804
SP2	0.0000	0.0000	0.3401	0.3401	0.3401
SP3	0.0000	0.0000	0.4500	0.4500	0.4500
SP4	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
SP5	0.0000	0.0000	0.0299	0.0299	0.0299

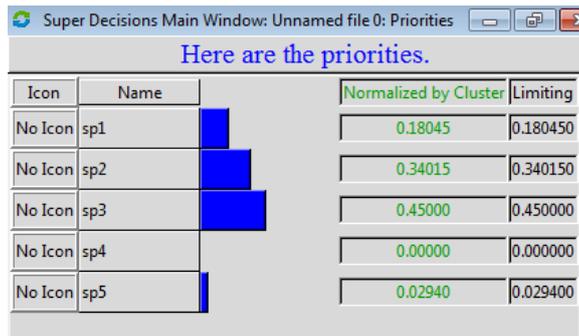


Figura 2.47. Ranking de prioridad de criterios del clúster socio-político según Super Decisions.

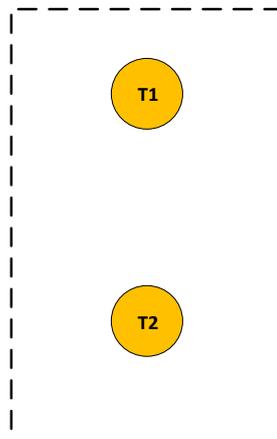
Criterios tecnológicos

Matrices de comparación de criterios tecnológicos

Se van a considerar las relaciones entre los siguientes criterios tecnológicos con el fin de determinar el ranking de prioridad entre estos elementos:

T1: Experiencia, dependencia tecnológica, infraestructuras.

T2: Condiciones geológicas - reservas.



La matriz de relaciones es la siguiente:

		TECNOLÓGICOS	
		T1	T2
T-1		0	0
T-2		0	0

Aunque la tecnología (T1) influye sobre las reservas (T2) lo hace en períodos de tiempo suficientemente largos para no considerar esta influencia en este estudio. Cambios significativos en la tecnología como los que provocaron la explotación del gas de pizarra por primera vez a través de la nueva técnica de perforación horizontal combinada con la fracturación hidráulica sí motivan cambios importantes en las reservas. Sin embargo, estos cambios tecnológicos tan relevantes tardan varias décadas en implantarse. Por tanto, se considera que no existe interrelación dentro del clúster entre T1 y T2.

2.4.2. Comparación de criterios inter-clúster con lógica difusa.

Una vez estudiadas las relaciones internas entre los criterios de cada clúster, lo que determina la importancia de cada criterio dentro del clúster correspondiente, se va a abordar el problema de la evaluación de la sostenibilidad con toda su complejidad, teniendo en cuenta que existen interrelaciones entre los criterios de los diferentes clústeres.

Se van a desarrollar a continuación las cuatro etapas del método ANP descritas en el apartado 2.3. Para simplificar la comprensión de la aplicación de la metodología al caso de estudio, aquí se va a mostrar únicamente parte de los cálculos, incorporando el resto en el Anexo I.

Etapas 1: Determinación de la estructura en red del problema de decisión multicriterio.

En esta etapa se definen las relaciones entre los diferentes criterios, relaciones tanto internas con otros criterios del mismo clúster, como externas con otros criterios pertenecientes a otros clústeres.

El primer paso es definir la forma de realizar los juicios. En este caso vamos a determinar cuál de los dos nodos tiene mayor influencia (o es más dominante) sobre el nodo primario. Las relaciones entre los nodos o criterios se pueden representar mediante una flecha que parte del nodo que ejerce la influencia y finaliza en el nodo primario sobre el que influye. En la figura 2.48 se representa la estructura del problema.

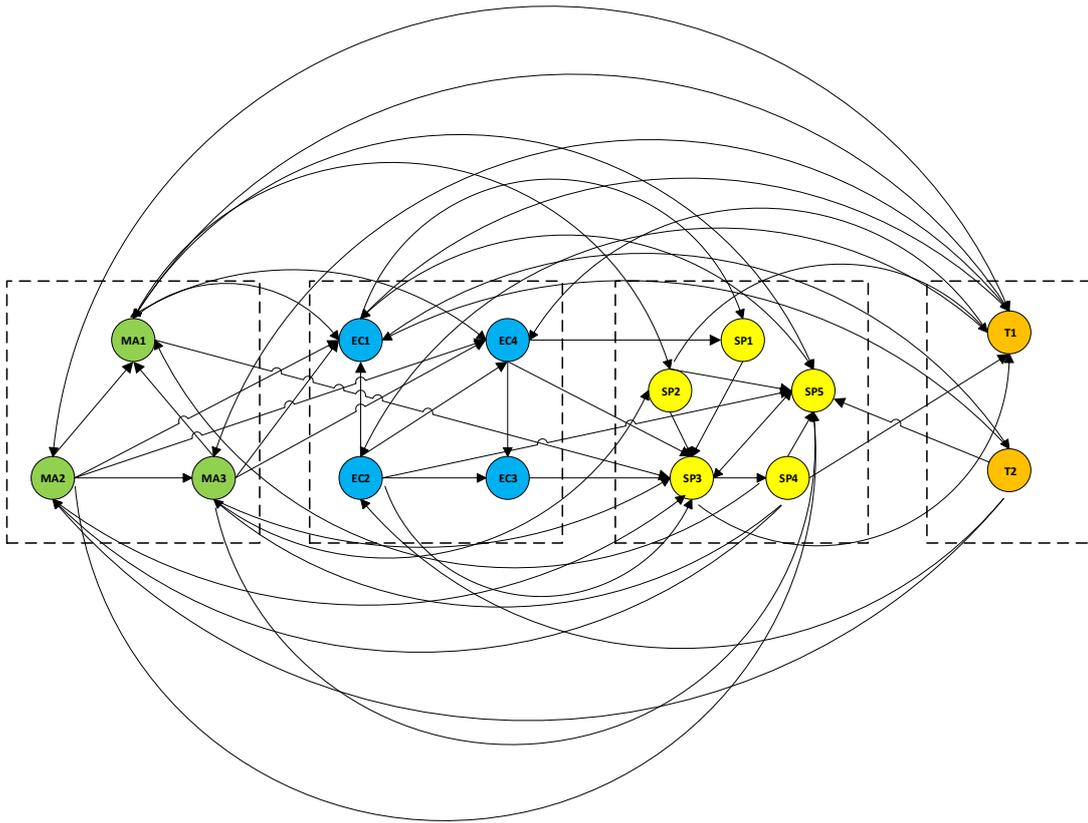


Figura 2.48. Estructura en red del problema de decisión multicriterio. Representación de las relaciones entre los diferentes nodos.

La estructura del problema ANP se puede representar así mismo mediante la matriz de interrelaciones inter-clúster de la figura 2.49 en la que los nodos que ejercen influencias se sitúan en la columna de la izquierda y los nodos primarios influenciados se sitúan en la fila superior. Hay que remarcar que se debe seguir siempre este criterio a la hora de desarrollar los siguientes pasos de la metodología ANP; así sobre el nodo primario MA1 (fila superior) influyen MA2, MA3 (clúster ambiental), SP4 (clúster socio-político), T1 y T2 (clúster tecnológico).

	MEDIO AMBIENTALES			ECONÓMICOS				SOCIO-POLÍTICOS					TECNOLÓG.	
	MA 1	MA 2	MA 3	EC 1	EC 2	EC 3	EC 4	SP 1	SP 2	SP 3	SP 4	SP 5	T 1	T 2
MA 1														
MA 2														
MA 3														
EC 1														
EC 2														
EC 3														
EC 4														
SP 1														
SP 2														
SP 3														
SP 4														
SP 5														
T-1														
T-2														

Figura 2.49. Matriz de interrelaciones inter-clúster

Etap 2: Determinación de la matriz original (no ponderada). Las influencias definidas en la etapa anterior determinan las matrices de comparación de criterios por pares. Aquí vamos a desarrollar las matrices correspondientes a las relaciones señaladas en la figura 2.50 (influencias sobre MA1, MA2 y MA3), mostrando en el Anexo I el resto de las matrices.

Por otra parte, a modo de ejemplo de matriz de comparación por pares de orden 3, se va a mostrar en este apartado la matriz correspondiente a las influencias de los factores ambientales sobre la percepción social (SP3).

	MEDIO AMBIENTALES			ECONÓMICOS				SOCIO-POLÍTICOS					TECNOLÓG.	
	MA1	MA2	MA3	EC1	EC2	EC3	EC4	SP1	SP2	SP3	SP4	SP5	T1	T2
MA1														
MA2														
MA3														
EC1														
EC2														
EC3														
EC4														
SP1														
SP2														
SP3														
SP4														
SP5														
T.1														
T.2														

Figura 2.50. Parte del problema ANP, desarrollado en este apartado.

➤ **Influencias sobre MA1**

MA2 y MA3 influyen sobre MA1, pero estas matrices ya han sido definidas en el apartado de relaciones inter-clúster, por lo que no se repiten de nuevo.

Influencia de EC4 sobre MA1:

MA1	EC4
EC4	EQ

Influencia de SP4 sobre MA1:

MA1	SP4
SP4	EQ

Influencias de los factores tecnológicos sobre MA1:

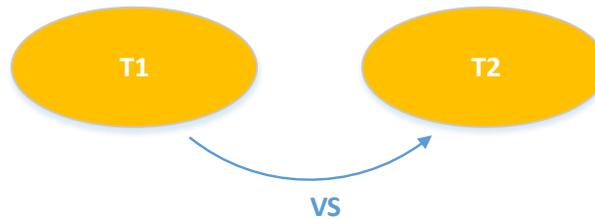
Los juicios emitidos por el autor sobre las influencias de los factores tecnológicos sobre MA1 se expresan en términos lingüísticos (ver tabla 2.5) en la siguiente matriz.

MA1	T1	T2
T1	EQ	VS
T2	RVS	EQ

Dichos juicios en forma de términos lingüísticos equivalen (ver tabla 2.5) a los números Fuzzy reflejados en la en la siguiente matriz. Debajo se muestra el vector prioridad.

MA1	T1	T2
T1	1,1,1	5,7,9
T2	1/9,1/7,1/5	1,1,1

$$X=(0.8750,0.1250,1.0000)$$



Se considera que la experiencia, dependencia tecnológica, infraestructuras (T1) tiene una importancia muy fuerte respecto a las condiciones geológicas, reservas (T2) en su influencia sobre las cargas ambientales (MA1). Así, una falta de experiencia podría causar accidentes como fugas o derrames causando contaminación. Además, la aplicación de las mejores técnicas disponibles en la fracturación hidráulica y la producción de los pozos puede reducir de manera considerable la contaminación ambiental.

Las condiciones geológicas, reservas (T2) afectan a las cargas ambientales (MA1) en el sentido que una geología más compleja y no tan bien conocida puede favorecer rutas de contaminación como diaclasas o fallas no cartografiadas. Por otra parte, la existencia de mayores reservas implica una mayor extracción de recursos con el consiguiente incremento del potencial impacto sobre el medio ambiente.

➤ **Influencias sobre MA2**

Sobre MA2 sólo influye SP4, por lo que no es necesario calcular el vector prioridad.

MA2	SP4
SP4	EQ

Influencias de los factores tecnológicos sobre MA2:

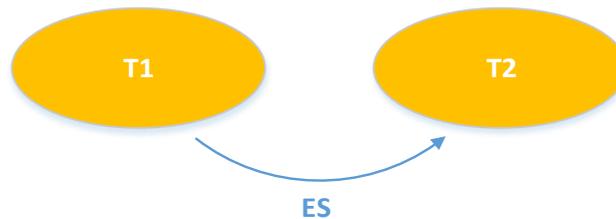
Los juicios emitidos por el autor sobre las influencias de los factores tecnológicos sobre MA2 se expresan en términos lingüísticos en la siguiente matriz:

MA2	T1	T2
T1	EQ	ES
T2	RES	EQ

Dichos juicios en forma de términos lingüísticos equivalen a los números Fuzzy reflejados en la siguiente matriz. Debajo se muestra el vector prioridad.

MA2	T1	T2
T1	1,1,1	3,5,7
T2	1/7,1/5,1/3	1,1,1

$$X=(0.8333,0.1667,1.0000)$$



La experiencia, dependencia tecnológica (T1) se considera esencialmente importante respecto de las condiciones geológicas, reservas (T2) en relación con la influencia que ejercen ambos sobre el uso de recursos (MA2) debido a que la aplicación de las mejores técnicas disponibles como la reutilización del agua usada en la fracturación, o un uso más eficiente de la energía en el proceso de desarrollo del pozo implican un menor uso de recursos. Tecnologías innovadoras como la fracturación seca con gas, implican una mejora sustancial en usos de recursos como el agua.

Por otra parte, la existencia de reservas y la dificultad para acceder a ellas por su profundidad (T2) implica el uso de recursos, por lo que es otro factor condicionante.

➤ Influencias sobre MA3

Dichas influencias sólo tienen un componente en cada matriz, por lo que no se requiere el cálculo del vector prioridad.

MA3	SP4
SP4	EQ

MA3	T1
T1	EQ

➤ Ejemplo de matriz de comparación por pares de orden 3 (influencia de los factores ambientales sobre la percepción social (SP3)):

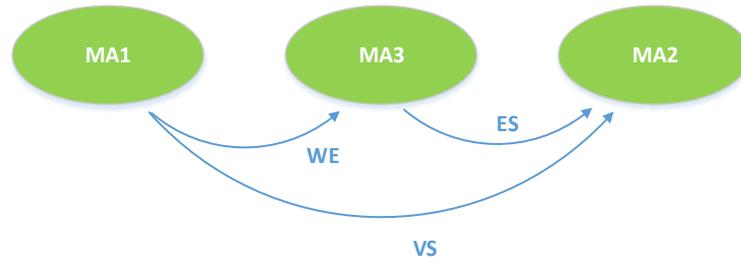
Los juicios emitidos por el autor sobre las influencias de los factores ambientales sobre SP3 se expresan en términos lingüísticos (ver tabla 2.5) en la siguiente matriz:

SP3	MA1	MA2	MA3
MA1	EQ	VS	WE
MA2	RVS	EQ	RES
MA3	RWE	ES	EQ

Dichos juicios en forma de términos lingüísticos equivalen (ver tabla 2.5) a los números Fuzzy reflejados en la en la siguiente matriz. Debajo se muestra el vector prioridad.

SP3	MA1	MA2	MA3
MA1	1,1,1	5,7,9	1,3,5
MA2	1/9,1/7,1/5	1,1,1	1/7,1/5,1/3
MA3	1/5,1/3,1	3,5,7	1,1,1

$$X=(0.6218,0.0785,0.2998,0.5371)$$



En su influencia sobre la percepción social, las cargas ambientales (MA1) son fuertemente importantes respecto al uso de recursos (MA2). La difusión de los diversos estudios e informes que señalan los diferentes impactos ambientales derivados del desarrollo de la técnica en EE.UU. provocan que la percepción del gas de pizarra sea muy negativa. En relación con el uso de recursos, la influencia es menor ya que únicamente se percibe negativamente el consumo de agua.

Otros impactos sobre el ambiente (MA3) tienen una importancia débil respecto a las cargas ambientales (MA1) debido a que los accidentes aun siendo puntuales ejercen una influencia negativa importante sobre la percepción social, aunque más limitada que los impactos ambientales continuos. Por esta misma razón, MA3 es esencialmente importante respecto al uso de recursos.

Los pesos relativos de cada criterio determinados en cada matriz aplicando el método de programación de preferencias (Anexo I), determinan la matriz original no ponderada. En la tabla 2.23 se muestra parte de dicha matriz (correspondiente a las influencias sobre los factores medio ambientales).

Tabla 2.23. Parte de la matriz original no ponderada.

	MEDIO AMBIENTALES		
	MA1	MA2	MA3
MA1			
MA2	0,1250		1,0000
MA3	0,8750		
EC1			
EC2			
EC3			
EC4	1,0000		
SP1			
SP2			
SP3			
SP4	1,0000	1,0000	1,0000
SP5			
T-1	0,8750	0,8333	1,0000
T-2	0,1250	0,1667	

Repitiendo este proceso para el resto de las matrices de comparación por pares de criterios (Anexo I), se obtiene la matriz original no ponderada (tabla 2.24).

Tabla 2.24. Matriz original no ponderada.

	MEDIO AMBIENTALES			ECONÓMICOS				SOCIO-POLÍTICOS					TECNOLÓG.	
	MA1	MA2	MA3	EC1	EC2	EC3	EC4	SP1	SP2	SP3	SP4	SP5	T1	T2
MA1				0,0966			0,6253		0,9000	0,6218		0,7343	0,4286	
MA2	0,1250		1,0000	0,7330			0,2636			0,0785		0,0956	0,4286	
MA3	0,8750			0,1704			0,1111		0,1000	0,2998		0,1702	0,1429	
EC1								0,8333				0,5000		1,0000
EC2				1,0000		0,8750	1,0000			0,1890		0,5000		
EC3										0,0919				
EC4	1,0000					0,1250		0,1667		0,7190				
SP1										0,3609				
SP2										0,5803		0,1000	0,1388	
SP3											1,0000	0,9000	0,7843	
SP4	1,0000	1,0000	1,0000										0,0769	
SP5										0,0588				
T-1	0,8750	0,8333	1,0000	1,0000		0,8750		1,0000						
T-2	0,1250	0,1667		0,8333	0,1250							1,0000		

Etapas 3: Determinación de la matriz ponderada. Se establecen los efectos relativos de un clúster sobre otro clúster (comparando las influencias entre clústeres, en base a sus elementos integrantes, de forma global), siguiendo el mismo procedimiento de establecimiento de matrices de comparación por pares (en este caso se comparan influencias entre clústeres).

Influencias sobre el clúster económico (EC).

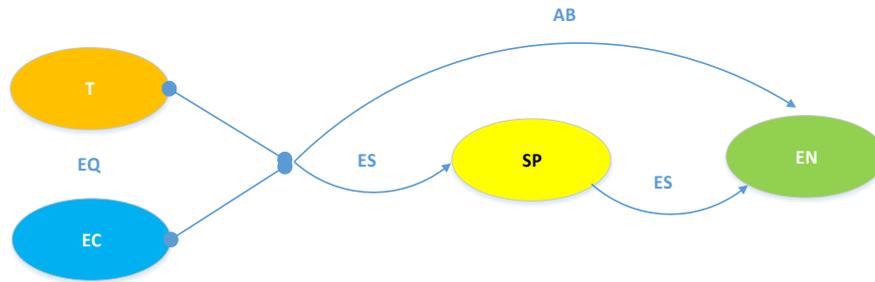
Los juicios emitidos por el autor sobre las influencias de los diferentes clústeres sobre el clúster económico (EC) se expresan en términos lingüísticos (ver tabla 2.5) en la siguiente matriz:

EC	EC	EN	SP	T
EC	EQ	AB	ES	EQ
EN	RAB	EQ	RES	RAB
SP	RES	ES	EQ	RES
T	EQ	AB	ES	EQ

Dichos juicios en forma de términos lingüísticos equivalen (ver tabla 2.5) a los números Fuzzy reflejados en la en la siguiente matriz. Debajo se muestra el vector prioridad.

EC	EC	EN	SP	T
EC	1,1,1	7,9,11	3,5,7	1,1,1
EN	1/11,1/9,1/7	1,1,1	1/7,1/5,1/3	1/11,1/9,1/7
SP	1/7,1/5,1/3	3,5,7	1,1,1	1/7,1/5,1/3
T	1,1,1	7,9,11	3,5,7	1,1,1

$X=(0.4174,0.0393,0.1258,0.4174,0.1586)$



Los factores económicos (EC) como la rentabilidad, el precio del gas, y los tecnológicos (T), en especial la dependencia tecnológica (T1) que condiciona la rentabilidad del pozo, se considera que tienen una importancia absoluta respecto a los factores ambientales (EN) en su influencia sobre el clúster económico.

Los factores socio-políticos (SP), especialmente la percepción social, la falta de regulación y el empleo condicionarán el clúster económico de forma esencial respecto a los factores ambientales. Esa misma distancia en términos de importancia de la influencia se ha considerado en relación con las importancias relativas entre EC y T respecto a SP.

Influencias sobre el clúster ambiental (EN).

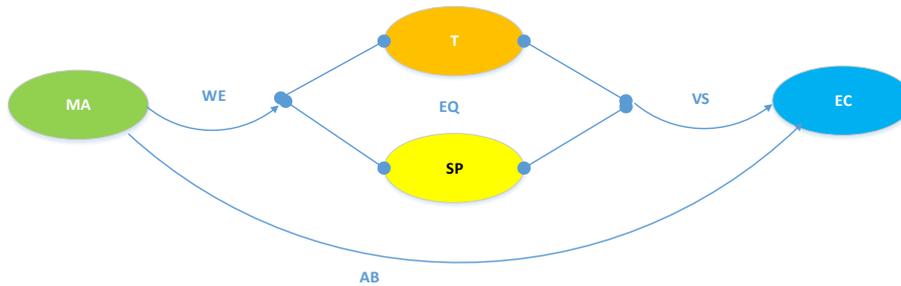
Los juicios emitidos por el autor sobre las influencias de los diferentes clústeres sobre el clúster ambiental (EN) se expresan en términos lingüísticos (ver tabla 2.5) en la siguiente matriz:

EN	EC	EN	SP	T
EC	EQ	RAB	RVS	RVS
EN	AB	EQ	WE	WE
SP	VS	RWE	EQ	EQ
T	VS	RWE	EQ	EQ

Dichos juicios en forma de términos lingüísticos equivalen (ver tabla 2.5) a los números Fuzzy reflejados en la en la siguiente matriz. Debajo se muestra el vector prioridad.

EN	EC	EN	SP	T
EC	1,1,1	1/11,1/9,1/7	1/9,1/7,1/5	1/9,1/7,1/5
EN	7,9,11	1,1,1	1,3,5	1,3,5
SP	5,7,9	1/5,1/3,1	1,1,1	1,1,1
T	5,7,9	1/5,1/3,1	1,1,1	1,1,1

$$X=(0.0447,0.4516,0.2519,0.2519,0.3964)$$



Los factores ambientales tienen una importancia absoluta respecto a los factores económicos en su influencia sobre el clúster ambiental. Así, dentro del clúster las interrelaciones son muy fuertes. Los accidentes (MA3) provocan contaminación del aire y aguas (MA1). El uso de recursos provoca cargas ambientales (MA1) etc. Los factores económicos sin embargo tienen poca influencia fuera de su propio clúster, y no afectan de manera significativa al clúster ambiental. En segundo término, en orden de influencia sobre los factores ambientales, están los factores tecnológicos y socio-políticos que se consideran de igual importancia y levemente menos influyentes que el propio clúster ambiental. Ya se han comentado anteriormente las fuertes influencias de los componentes de este clúster sobre el clúster ambiental.

Completando el sistema de influencias, y dada la baja importancia del clúster económico, el tándem formado por los clústeres tecnológico y socio-político tiene una importancia muy fuerte respecto al clúster económico.

Influencias sobre el clúster socio-político (SP).

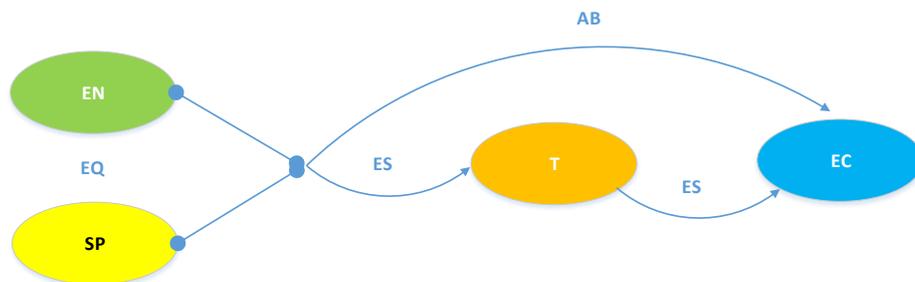
Los juicios emitidos por el autor sobre las influencias de los diferentes clústeres sobre el clúster socio-político (SP) se expresan en términos lingüísticos (ver tabla 2.5) en la siguiente matriz:

SP	EC	EN	SP	T
EC	EQ	RAB	RAB	RES
EN	AB	EQ	EQ	ES
SP	AB	EQ	EQ	ES
T	ES	RES	RES	EQ

Dichos juicios en forma de términos lingüísticos equivalen (ver tabla 2.5) a los números Fuzzy reflejados en la en la siguiente matriz. Debajo se muestra el vector prioridad.

SP	EC	EN	SP	T
EC	1,1,1	1/11,1/9,1/7	1/11,1/9,1/7	1/7,1/5,1/3
EN	7,9,11	1,1,1	1,1,1	3,5,7
SP	7,9,11	1,1,1	1,1,1	3,5,7
T	3,5,7	1/7,1/5,1/3	1/7,1/5,1/3	1,1,1

$$X=(0.0393,0.4174,0.4174,0.1258,0.1586)$$



En la influencia sobre los factores socio-políticos los clústeres ambiental y socio-político tienen la máxima e igual importancia, siendo absolutamente importantes respecto al clúster económico. Las cargas ambientales (MA1), la creación de empleo (SP1) y la afección a la salud (SP2) afectan de forma muy directa sobre el resto de los factores socio-políticos, en especial sobre la percepción social (SP3). Estos dos clústeres son esencialmente importantes respecto al clúster tecnológico el cual, aunque con menor influencia, afecta al clúster socio-político en relación con la pérdida o ganancia patrimonial (SP5).

La distancia entre el clúster tecnológico y el económico se ha señalado como ES. El clúster tecnológico es esencialmente importante respecto al económico ya que, como se ha comentado, el

clúster económico tiene poca influencia en el socio-político, por lo que se ha considerado que existe suficiente distancia en términos de importancia entre los clústeres tecnológico (T) y económico (EC).

Influencias sobre el clúster tecnológico (T).

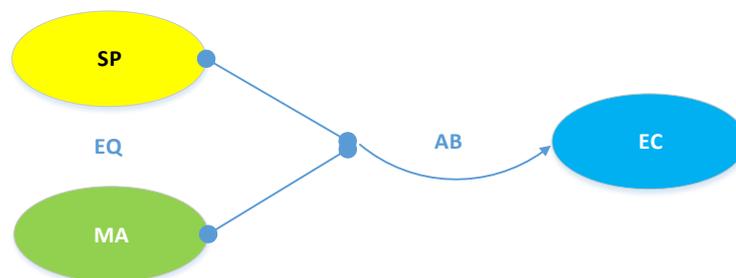
Los juicios emitidos por el autor sobre las influencias de los diferentes clústeres sobre el clúster socio-político (SP) se expresan en términos lingüísticos (ver tabla 2.5) en la siguiente matriz:

T	EC	EN	SP
EC	EQ	RAB	RAB
EN	AB	EQ	EQ
SP	AB	EQ	EQ

Dichos juicios en forma de términos lingüísticos equivalen (ver tabla 2.5) a los números Fuzzy reflejados en la en la siguiente matriz. Debajo se muestra el vector prioridad.

T	EC	EN	SP
EC	1,1,1	1/11,1/9,1/7	1/11,1/9,1/7
EN	7,9,11	1,1,1	1,1,1
SP	7,9,11	1,1,1	1,1,1

$X=(0.0526,0.4737,0.4737,1.0000)$



En términos de influencia sobre los factores tecnológicos, los factores socio-políticos y ambientales tienen, por igual, una importancia absoluta respecto a los factores económicos. Así, las cargas ambientales, uso de recursos y accidentes (MA1, MA2 MA3), son motores de desarrollo de

tecnología nueva y aplicación de buenas prácticas en la industria, al igual que los factores sociales como la percepción social (SP3) o la afección a la salud (SP2).

Los factores económicos sin embargo no influyen tanto sobre los tecnológicos como sí ocurre al revés, aunque es evidente que el aumento de la rentabilidad de un pozo también influye en la mejora tecnológica del sector.

Puesto que, como se ha comentado anteriormente, dentro del clúster tecnológico no se ha considerado ninguna interacción entre los dos factores del mismo, este clúster no influirá sobre sí mismo y por tanto no se tiene en cuenta aquí.

Los pesos de las matrices de comparación por pares de clústeres obtenidos anteriormente configuran la matriz original de clústeres que se muestra en la tabla 2.25.

Tabla 2.25. Matriz original de comparación de clústeres (no ponderada).

	MA	EC	SP	T
MA	0,4516	0,0393	0,4174	0,4737
EC	0,0447	0,4174	0,0393	0,0526
SP	0,2519	0,1258	0,4174	0,4737
T	0,2519	0,4174	0,1258	0

Ponderando la matriz original obtenida en la Etapa 2 anterior por los pesos relativos de los clústeres (tabla 2.25), como se muestra en la tabla 2.26, se obtiene la matriz ponderada (tabla 2.27).

Tabla 2.26. Ponderación por clústeres de la matriz original.

	MEDIO AMBIENTALES			
	MA 1	MA 2	MA 3	
MA 1				×0,4516
MA 2	0,1250		1,0000	
MA 3	0,8750			
EC 1				×0,0447
EC 2				
EC 3				
EC 4	1,0000			
SP 1				×0,2519
SP 2				
SP 3				
SP 4	1,0000	1,0000	1,0000	
SP 5				
T-1	0,8750	0,8333	1,0000	×0,2519
T-2	0,1250	0,1667		

Tabla 2.27. Matriz ponderada no normalizada.

	MEDIO AMBIENTALES		
	MA1	MA2	MA3
MA1	0,0000	0,0000	0,0000
MA2	0,0565	0,0000	0,4516
MA3	0,3952	0,0000	0,0000
EC1	0,0000	0,0000	0,0000
EC2	0,0000	0,0000	0,0000
EC3	0,0000	0,0000	0,0000
EC4	0,0447	0,0000	0,0000
SP1	0,0000	0,0000	0,0000
SP2	0,0000	0,0000	0,0000
SP3	0,0000	0,0000	0,0000
SP4	0,2519	0,2519	0,2519
SP5	0,0000	0,0000	0,0000
T-1	0,2204	0,2099	0,2519
T-2	0,0315	0,0420	0,0000
Σ	1,0001	0,5038	0,9554

Este procedimiento se repite para el resto de los bloques de la matriz original, ponderando por los valores correspondientes de la matriz original de comparación de clústeres (ver Anexo I), obteniendo una vez normalizada (todas las columnas deben sumar la unidad), la matriz ponderada de la tabla 2.28.

Tabla 2.28. Matriz ponderada normalizada.

	MEDIO AMBIENTALES			ECONÓMICOS				SOCIO-POLÍTICOS					TECNOLÓG.	
	MA1	MA2	MA3	EC1	EC2	EC3	EC4	SP1	SP2	SP3	SP4	SP5	T1	T2
MA1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0038	0,0000	0,0000	0,0281	0,0000	0,9000	0,2969	0,0000	0,3065	0,2143	0,0000
MA2	0,0564	0,0000	0,4727	0,0288	0,0000	0,0000	0,0119	0,0000	0,0000	0,0375	0,0000	0,0399	0,2143	0,0000
MA3	0,3951	0,0000	0,0000	0,0067	0,0000	0,0000	0,0050	0,0000	0,1000	0,1432	0,0000	0,0710	0,0714	0,0000
EC1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,8333	0,0000	0,0000	0,0000	0,0197	0,0000	1,0000
EC2	0,0000	0,0000	0,0000	0,4174	0,0000	0,8750	0,4775	0,0000	0,0000	0,0085	0,0000	0,0197	0,0000	0,0000
EC3	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0041	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
EC4	0,0447	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,1250	0,0000	0,1667	0,0000	0,0323	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
SP1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,1723	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
SP2	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,2771	0,0000	0,0417	0,0694	0,0000
SP3	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	1,0000	0,3757	0,3921	0,0000
SP4	0,2519	0,5000	0,2637	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0384	0,0000
SP5	0,0000	0,0000	0,0000	0,1258	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0281	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
T-1	0,2204	0,4167	0,2637	0,0696	0,8750	0,0000	0,4775	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
T-2	0,0315	0,0834	0,0000	0,3479	0,1250	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,1258	0,0000	0,0000

Etapas 4: Determinación de la supermatriz límite elevando la matriz ponderada a la potencia $2k+1$, donde k es un número lo suficientemente grande para permitir que la matriz converja (todas las columnas deben ser iguales).

En el caso que nos ocupa ha sido necesario elevar la matriz ponderada a la potencia 32 para lograr la convergencia de la matriz, obteniendo así la supermatriz límite mostrada en la tabla 2.29.

Tabla 2.29. Supermatriz límite.

	MA1	MA2	MA3	EC1	EC2	EC3	EC4	SP1	SP2	SP3	SP4	SP5	T1	T2
MA1	0,1359	0,1359	0,1359	0,1359	0,1359	0,1359	0,1359	0,1359	0,1359	0,1359	0,1359	0,1359	0,1359	0,1359
MA2	0,0911	0,0911	0,0911	0,0911	0,0911	0,0911	0,0911	0,0911	0,0911	0,0911	0,0911	0,0911	0,0911	0,0911
MA3	0,0949	0,0949	0,0949	0,0949	0,0949	0,0949	0,0949	0,0949	0,0949	0,0949	0,0949	0,0949	0,0949	0,0949
EC1	0,0656	0,0656	0,0656	0,0656	0,0656	0,0656	0,0656	0,0656	0,0656	0,0656	0,0656	0,0656	0,0656	0,0656
EC2	0,0375	0,0375	0,0375	0,0375	0,0375	0,0375	0,0375	0,0375	0,0375	0,0375	0,0375	0,0375	0,0375	0,0375
EC3	0,0007	0,0007	0,0007	0,0007	0,0007	0,0007	0,0007	0,0007	0,0007	0,0007	0,0007	0,0007	0,0007	0,0007
EC4	0,0165	0,0165	0,0165	0,0165	0,0165	0,0165	0,0165	0,0165	0,0165	0,0165	0,0165	0,0165	0,0165	0,0165
SP1	0,0292	0,0292	0,0292	0,0292	0,0292	0,0292	0,0292	0,0292	0,0292	0,0292	0,0292	0,0292	0,0292	0,0292
SP2	0,0570	0,0570	0,0570	0,0570	0,0570	0,0570	0,0570	0,0570	0,0570	0,0570	0,0570	0,0570	0,0570	0,0570
SP3	0,1692	0,1692	0,1692	0,1692	0,1692	0,1692	0,1692	0,1692	0,1692	0,1692	0,1692	0,1692	0,1692	0,1692
SP4	0,1101	0,1101	0,1101	0,1101	0,1101	0,1101	0,1101	0,1101	0,1101	0,1101	0,1101	0,1101	0,1101	0,1101
SP5	0,0130	0,0130	0,0130	0,0130	0,0130	0,0130	0,0130	0,0130	0,0130	0,0130	0,0130	0,0130	0,0130	0,0130
T-1	0,1382	0,1382	0,1382	0,1382	0,1382	0,1382	0,1382	0,1382	0,1382	0,1382	0,1382	0,1382	0,1382	0,1382
T-2	0,0410	0,0410	0,0410	0,0410	0,0410	0,0410	0,0410	0,0410	0,0410	0,0410	0,0410	0,0410	0,0410	0,0410

Los valores de las columnas de la tabla 2.29 representan el peso final en tanto por uno de cada criterio en el problema ANP. Se obtiene, por tanto, el ranking de importancia (en términos de influencia) de los criterios de sostenibilidad en la fracturación hidráulica mostrado en la figura 2.51.

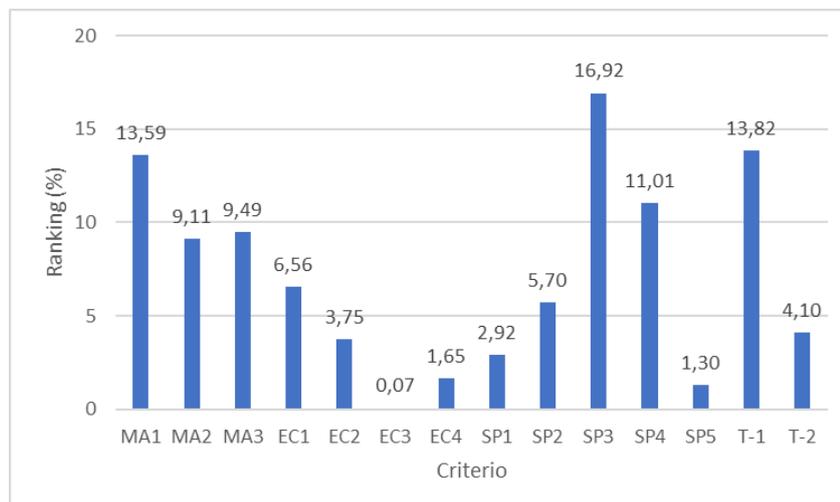


Figura 2.51. Importancia relativa de los diferentes criterios de sostenibilidad en la fracturación hidráulica.

La percepción social (SP3) es el aspecto más relevante. Le sigue las cargas ambientales (MA1) y tecnológicos (T1). Los aspectos sociales representan el 37,85% en el ranking de importancia, seguido por los aspectos ambientales (32,19%). Los aspectos económicos tienen menor importancia 12,03%.

Validación de los resultados obtenidos mediante software Super-Decisions.

Para la obtención de la matriz límite, que determina el ranking de importancia de los diferentes factores a partir de la matriz original se ha utilizado el programa Microsoft Excel

procediendo como se ha comentado anteriormente (elevando la matriz ponderada a la potencia $n=32$ hasta converger).

Se ha verificado el resultado mediante un programa creado por el Dr. T. Saaty y disponible en la web <https://www.superdecisions.com/> (Creative Decisions Foundation) denominado Super Decisions, aplicable a los métodos de decisión multicriterio AHP y ANP.

Dicho programa permite introducir los valores de la escala Saaty de cada una de las matrices de comparación por pares, lo que no es posible en este caso ya que se ha trabajado con números Fuzzy. Por ello se ha utilizado la segunda opción de entrada en la que se introducen los valores de la matriz original (tabla 2.24), formada por números discretos (crisp).

El primer paso en la aplicación de ANP mediante el programa Super Decisions es el dibujo en su interface gráfica de los clúster y los nodos contenidos en cada clúster. Posteriormente se establecen las conexiones o relaciones entre los nodos, quedando representadas en forma de flechas, algunas de las cuales parten y finalizan el mismo clúster, lo que significa que existen relaciones intra-clúster (el software representa gráficamente las conexiones entre clústers). El modelo planteado se puede ver en la figura 2.52.

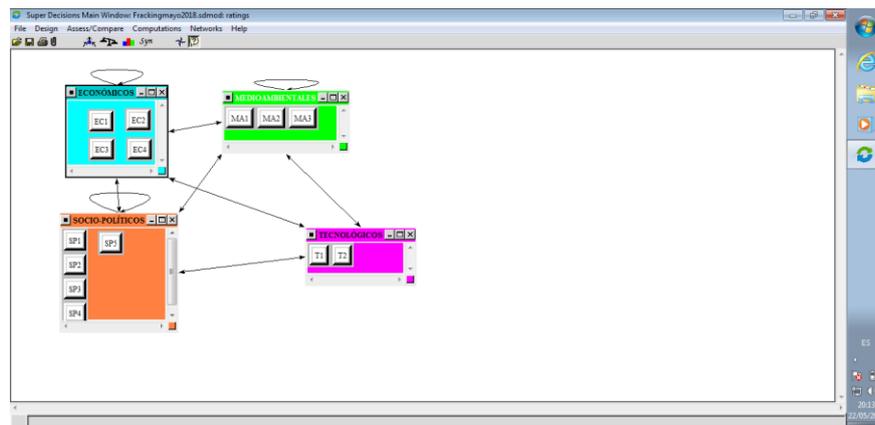


Figura 2.52. Modelo ANP mediante Super-Decisions.

Una vez establecidas las conexiones, se introducen los valores de la matriz original de comparación de criterios y los juicios de las comparaciones entre clústeres, calculando el programa automáticamente la supermatriz límite, que indicará el ranking de importancia de los factores de la sostenibilidad.

Los resultados obtenidos, coinciden con las prioridades obtenidas mediante la aplicación de la metodología ANP con la ayuda de Excel, como se puede ver en el cuadro de la figura siguiente que representa los resultados de Super-Decisions.

Icon	Name	Normalized by Cluster	Limiting
No Icon	EC1	0.54498	0.065564
No Icon	EC2	0.31212	0.037550
No Icon	EC3	0.00581	0.000699
No Icon	EC4	0.13709	0.016493
No Icon	MA1	0.42212	0.135892
No Icon	MA2	0.28299	0.091103
No Icon	MA3	0.29488	0.094930
No Icon	SP1	0.07704	0.029162
No Icon	SP2	0.15065	0.057026
No Icon	SP3	0.44704	0.169215
No Icon	SP4	0.29093	0.110124
No Icon	SP5	0.03434	0.013000
No Icon	T1	0.77121	0.138232
No Icon	T2	0.22879	0.041008

Figura 2.53. Prioridades del modelo según Super-Decisions.

2.4.3. Análisis de Sensibilidad

Mediante el análisis de sensibilidad se estudia como varía el ranking de prioridades al variar la importancia de un factor de la sostenibilidad. Para su determinación, dada la complejidad de los cálculos, se ha utilizado el software Super Decisions de Creative Decisions Foundation.

Super Decisions, tiene diferentes metodologías de análisis de la sensibilidad. La que mejor se adapta a las características de las interacciones en red propias del método ANP es la denominada "ANP Row Sensitivity" (Adams et al., 2013).

La idea de en análisis de sensibilidad "ANP Row Sensitivity" es seleccionar un nodo de la red y ajustar su peso o importancia de forma global y antes del cálculo de la matriz límite. Esto se logra cambiando, no únicamente el peso de dicho nodo, sino el peso de todos los nodos que se conectan con él, preservando la estructura ANP tanto como sea posible (Adams, 2014).

En el Anexo I se representan los resultados gráficos obtenidos con Super-Decisions. En base a estos resultados, las variaciones que deben existir en los valores de prioridad de los diferentes factores de la sostenibilidad, para que SP3 pase de ocupar la primera a la segunda posición en el ranking, se muestran en la tabla 2.30.

Tabla 2.30. Variaciones necesarias para el cambio en el ranking de prioridad.

Parámetro	Variación	Nuevo Ranking
MA1	24,36%	MA1,SP3,T1
MA2	96,48%	MA2,SP3,T1
MA3	81,19%	MA3,SP3,T1
EC1	-	No cambia
EC2	147,67%	T1,SP3,MA1
EC3	7.768,38%	T1,SP3,MA1
EC4	306,23%	T1,SP3,MA1
SP1	177,76%	T1,SP3,EC1
	198,33%	T1,EC1,SP3
SP2	82,37%	MA1,SP3,T1
	156,02%	MA1,SP2,SP3
SP3	-15,49%	T1,SP3,MA1
	-16,67%	T1,MA1,SP3
SP4	7,15%	SP3,MA1,T1
	-19,18%	T1,SP3,MA1
SP5	1.507,69%	SP5,SP3,MA1
T1	22,98%	T1,SP3,MA1
T2	182,87%	EC1,SP3,T2

Como puede observarse, el modelo es insensible a los cambios en la importancia de EC1 (rentabilidad), y prácticamente insensible a EC3 (impacto en el PIB) y SP5 (pérdida o ganancia patrimonial), manteniendo SP3 la primera posición en cualquier caso ante cualquier variación de dichos parámetros. Los factores que muestran una mayor sensibilidad son por este orden SP4 (falta de regulación) SP3 (percepción social) T1 (experiencia, dependencia tecnológica, infraestructuras) y MA1 (cargas ambientales). Se requiere un descenso del 19,18% en la importancia de SP4 para que T1 desplace a SP3 de la primera posición. Un aumento en la importancia de SP4 del 7,15% hace que MA1 pase a ocupar la segunda posición, aunque manteniendo SP3 la primera.

En la figura 2.54 se representa la sensibilidad de los diferentes factores en una escala entre cero (menos sensible) y 1 (más sensible). Por un problema de escala se han eliminado del gráfico los factores con menor grado de sensibilidad: EC1, EC3 y SP5, ya que la variación requerida para cambiar el ranking de factores es varios órdenes de magnitud mayor que el resto de los factores representados.



Figura 2.54. Grado de sensibilidad de los factores de la sostenibilidad (escala entre 0 y 1)

2.4.4. Eliminación de los factores socio-políticos.

Como se ha visto en el análisis inicial, los aspectos socio-políticos son los más importantes y condicionan la toma de decisiones. En el supuesto que se llegara a un acuerdo socio-político, se estudia a continuación la importancia del resto de factores desde el punto de vista de la sostenibilidad ambiental y económica. Para ello, se eliminan los factores socio-políticos en el análisis Fuzzy-ANP (el proceso se desarrolla en el Anexo I). Los resultados obtenidos se muestran en la figura 2.55.

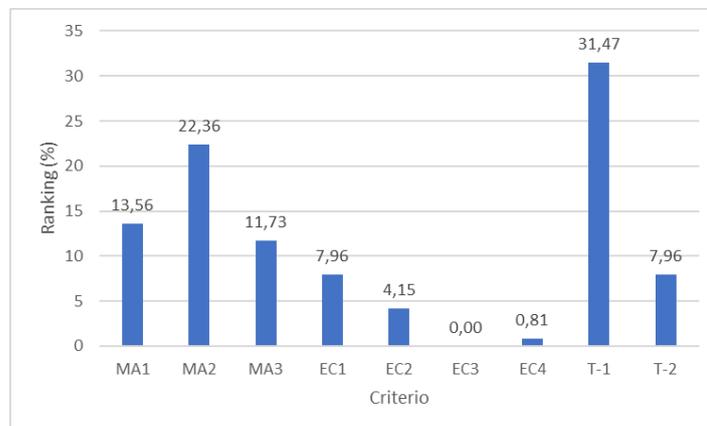


Figura 2.55. Importancia relativa de los diferentes criterios de la fracturación hidráulica sin considerar los factores socio-políticos.

Eliminando los factores socio-políticos, que condicionan los demás, se obtiene como principal factor de sostenibilidad la experiencia y dependencia tecnológica (T1) seguido por el consumo de recursos (MA2) y las cargas ambientales en tercer lugar (MA1). Los aspectos económicos siguen quedando en una posición baja en el ranking.

2.5. Evaluación atendiendo al criterio de académicos

Los juicios por pares mostrados en el apartado 2.4 han sido realizados por el autor de esta tesis, con conocimientos y experiencia en medio ambiente y formación de ingeniero de minas. No obstante, es característico de la metodología AHP (proceso analítico jerárquico), y de la metodología derivada ANP (proceso analítico en red) la incorporación de juicios procedentes de encuestas realizadas a N personas con una o más de las siguientes características: encargadas de la toma de decisión, expertas en los temas que se desean evaluar o partes interesadas en los resultados (académicos, técnicos, empresarios etc.).

En el presente apartado se ha querido incorporar la opinión de grupos de interés (stakeholders), en este caso un grupo formado por 13 profesores de Ingeniería Química con titulación de doctorado y amplios conocimientos sobre sostenibilidad.

La realización de la totalidad de los juicios por pares correspondientes a las diferentes matrices de comparación (proceso explicado en el apartado 2.4) por parte de los encuestados conllevaría un arduo trabajo con resultados inciertos dada la complejidad y el elevado número de juicios. Por ello, se ha limitado la encuesta a establecer la matriz de ponderación de clústeres (etapa 3 del proceso ANP, ver apartado 2.4).

Dado que los encuestados, en general, no estaban familiarizados con la metodología AHP/ANP se ha querido simplificar la encuesta formulando las preguntas requeridas para la composición de las diferentes matrices (cuatro, una por cada clúster) que conforman la matriz de ponderación de clústeres. En el Anexo II se muestra la encuesta remitida. Como puede verse, se utilizó una escala de Saaty convencional prescindiendo de la utilización de números Fuzzy cuya comprensión añadiría complejidad a la encuesta.

Con los resultados obtenidos se elaboraron las diferentes matrices de juicios por pares y se sometieron a un estudio de la consistencia mediante la obtención del coeficiente de relación de consistencia / RC (Saaty, 1987). Las matrices originales resultantes de las encuestas se muestran en el Anexo II.

Como cabría esperar de la realización de juicios por pares sin ninguna sistemática previa establecida, las matrices obtenidas fueron en su mayor parte inconsistentes $RC > 0,1$, tal como se muestra en la tabla 2.31.

Tabla 2.31. Relaciones de consistencia en las matrices de comparación de la encuesta (en negrita, las matrices que resultaron inconsistentes).

Encuestado	Relación de consistencia (RC)			
	Matriz EN	Matriz SP	Matriz EC	Matriz T
A	0,12	0,09	0,12	1,60
B	0,20	0,20	0,32	0,27
C	0,28	0,28	0,24	0,27
D	0,09	0,30	0,37	0,26
E	0,24	1,16	0,43	0,52
F	0,13	0,14	0,23	0,01
G	0,36	0,29	0,45	0,41
H	0,09	0,56	0,36	0,06
I	0,00	0,03	0,05	0,00
J	0,23	0,01	0,11	0,00
K	0,07	0,11	0,02	0,00
L	2,19	0,00	0,56	0,27
M	0,14	0,15	0,28	0,103

Un 71% de las matrices de comparación por pares fueron inconsistentes. Cabe destacar el encuestado "I" cuyas matrices resultaron consistentes en todos los casos, lo cual se debió a la utilización de una sistemática de ordenación similar a la explicada en el epígrafe "Mejora de la consistencia de los juicios" (apartado 2.3)

Diversos autores han propuesto métodos para corregir las inconsistencias mediante métodos de modificación de la matriz de comparación por pares que permiten reducir la relación de consistencia. Saaty, 2003, 2008 determina los elementos de la matriz que más influyen en el valor excesivo de la relación de consistencia, proponiendo nuevos valores que se someten a la aprobación del encuestado.

Benitez et al., 2011 propone aplicar la linealización para la determinación de una matriz de comparación por pares consistente, cuya distancia de la original sea pequeña. Para ello, define una cierta medida basada en la norma de Frobenius. El artículo establece unas funciones en lenguaje Matlab para la determinación de la matriz consistente más cercana a la original, mediante el uso de la proyección ortogonal en un espacio lineal.

El método propuesto por Benítez et al. ha sido el utilizado en este trabajo para la obtención de matrices consistentes a partir de las matrices originales de los encuestados. Este método permite la obtención de una matriz cercana a la original, sin tener que someter de nuevo a revisión por parte de los encuestados los juicios emitidos con anterioridad. En el Anexo II se muestran las dos funciones de Matlab utilizadas para este propósito.

En el Anexo II se adjuntan las matrices corregidas mediante linealización, que son perfectamente consistentes (RC=0).

Obtenidas las matrices de comparación por pares, correspondientes a los 13 encuestados (una vez corregidas las inconsistencias mediante linealización), es necesario estudiar cómo se integran estas matrices en el sistema ANP mediante técnicas de agregación de grupo.

La elección del método de integración depende de si el grupo actúa en conjunto, compartiendo las metas e intereses, o si el grupo actúa de forma individual, donde cada integrante tiene sus propios intereses y prioridades.

En el caso de que la estructura del grupo sea homogénea, actuando de forma conjunta y sinérgica, la integración se realizaría mediante el método de agregación de juicios individuales (aggregation of individual judgments, AIJ), consistente en la agregación mediante la obtención de la media geométrica de cada entrada de las matrices de comparación.

En el caso de que exista conflicto de intereses, o que los miembros del grupo actúen de forma individual, con sus propios sistemas de valores, la agregación debe hacerse mediante el sistema de agregación de prioridades individuales AIP (aggregation of individual priorities), en el que se calcula primero el vector de prioridad de cada encuestado y posteriormente se calcula el vector de prioridad global como la media geométrica de cada elemento de los diferentes vectores de prioridad individuales (Ossdnik et al., 2016).

En este caso, los trece encuestados actuaron de forma individual con su propia escala de valores, lo que implica que pudieron dar diferente importancia a los diferentes factores económicos, ambientales, socio-políticos y tecnológicos. Por ello, se ha utilizado el método AIP de agregación de prioridades. Obteniendo el vector de prioridad global como la media geométrica de los diferentes vectores de prioridad:

$$W_i = \left(\prod_{n=1}^N W_{ni} \right)^{1/N}$$

Siguiendo esta metodología, se obtuvo la matriz de ponderación de clústeres representada en la tabla 2.32.

Tabla 2.32. Matriz original de ponderación de clústeres en base a encuestas.

	EC	EN	SP	T
EC	0.4020	0.1106	0.3357	0.3474
EN	0.1238	0.2749	0.1546	0.1699
SP	0.1523	0.2115	0.2458	0.2379
T	0.1082	0.1296	0.0687	0.0000

Y una vez normalizada:

Tabla 2.33. Matriz de ponderación de clústeres en base a encuestas, normalizada.

	EC	EN	SP	T
EC	0.5113	0.1522	0.4171	0.4600
EN	0.1574	0.3783	0.1921	0.2249
SP	0.1937	0.2910	0.3054	0.3151
T	0.1376	0.1784	0.0854	0.0000

Siguiendo la metodología ANP descrita en el apartado 2.3 a partir de la matriz no ponderada definida por el autor (apartado 2.4), y mediante la ponderación basada en encuestas y definida por la matriz de la tabla 2.33, se obtiene un nuevo ranking de importancia de los factores de la sostenibilidad de la fracturación hidráulica (ver proceso completo en el Anexo II).

En la figura 2.56 se muestran los resultados obtenidos en base a encuestas, comparados con los obtenidos previamente por el autor.

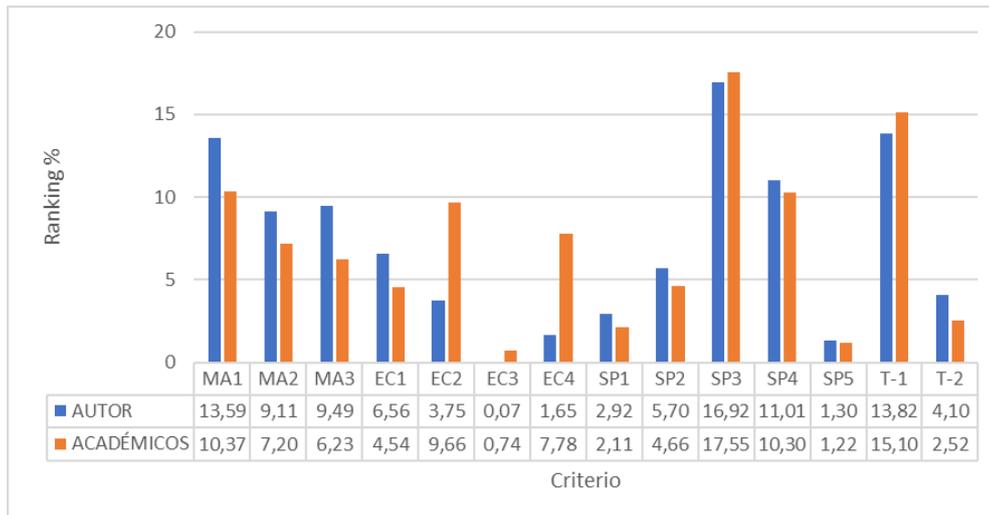


Figura 2.56. Comparación de las prioridades de criterios obtenidas con los juicios del autor y del grupo de académicos.

De los resultados mostrados en la figura 2.56 se concluye que el ranking de prioridad obtenido partiendo de los juicios del autor y de los criterios de académicos es muy similar, con pequeñas diferencias en los porcentajes de importancia, sin que varíe el orden de prioridad, lo que junto con los resultados obtenidos en el análisis de sensibilidad del apartado 2.4 demuestra la robustez de la metodología seleccionada para el análisis de la sensibilidad de la fracturación hidráulica.

2.6. Referencias del Capítulo 2

- Adams, W.J.L., Saaty D.L., 2013. US Patent Nº. 8,423,500. Washington DC: US Patent and Trademark Office.
- Adams, W.J.L., 2014. ANP Row Sensitivity and the Resulting Influence Analysis. International Journal of the Analytic Hierarchy Process. International Symposium of the Analytic Hierarchy Process. Washington, D. C. June 29 – July 2, 2014.
- Angeles, A., 2018. Reforming Natural Gas Fracking Regulations in 2017–2018: How Should States Enforce Regulations? Environmental Claims Journal 30:3, 251-272, DOI: 10.1080/10406026.2018.1469878
- Aragonés-Beltrán, P., Chaparro-González, F., Pastor-Ferrando, J.P., Rodríguez-Pozo, F., 2010. An ANP-based approach for the selection of photovoltaic solar power plant investment projects. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 14, 249-264.
- Armendariz, A., 2009. Emissions from Natural Gas Production in the Barnett Shale Area and Opportunities for Cost Effective Improvements. Department of Environmental and Civil

- Engineering Southern Methodist University., Dallas.
- Belton, V., Stewart, T.J., 2002. Multiple Criteria Decision Analysis: an Integrated Approach. Kluwer Academic Publisher.
- Benítez, J., Delgado-Galván, X., Izquierdo, J., Pérez-García,R., 2011. Achieving Matrix Consistency in AHP through Linearization. *Applied Mathematical Modelling*, 35(9), 4449-4457.
- Bolden A.L., Schultz, K., Pelch, K.E., Kwiatkowski, C.F., 2018. Exploring the endocrine activity of air pollutants associated with unconventional oil and gas extraction. *Environmental Health*. <https://doi.org/10.1186/s12940-018-0368-z>.
- Botelho, A., Pinto, L.M.C., Lourenço-Gomes, L., Valente, M., Sousa, S., 2016. Social sustainability of renewable energy sources in electricity production: An application of the contingent valuation method. *Sustainable Cities and Society* 26, 429-437.
- Boudet, H.S., Zanocco, C.M., Howe, P.D., Clarke, C.E., 2018. The Effect of Geographic Proximity to Unconventional Oil and Gas Development on Public Support for Hydraulic Fracturing. Wiley Online Library. <https://doi.org/10.1111/risa.12989>.
- Brans, J.P., Mareschal, B., 2005. PROMETHEE methods. In: Figueira, J., Figueira, J., Greco, S., Greco, S., Ehrgott, M., Ehrgott, M. *Multi Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys*. Springer, New York.
- Brans, J.P., De Smet, Y., 2016. PROMETHEE methods. from book *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys* (pp.187-219). Greco, Salvatore (Ed.)
- Broderick, J., Wood, R., Gilbert, P., Sharmina, M., Anderson, K., Footitt, A., Glynn, S., Nicholls, F., 2011. *Gas de pizarra: an update assessment of environmental and climate change impacts*. Tyndall Centre. University of Manchester.
- Broomfield, M., 2012. Support to the Identification of potential risk for the Environment and human health arising from hydrocarbons operations involving hydraulic fracturing in Europe. European Commission DG Environmet (AEA).
- Cámara, A., Pendás, F., 2013. *Gas no Convencional en España, una Oportunidad de Futuro.*,» Consejo Superior de Colegios de Ingenieros de Minas.
- Chang, D.Y., 1996. Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP. *European Journal of Operational Research* 95, 649-655.
- Cinelli, M., Stuart, R., Kirwan, K., 2014. Analysis of the potentials of multi criteria decision analysis methods to conduct sustainability assessment. *Ecological Indicators* 46, 138–148.
- Cohen, F., Wisniewska, L., Lyons, L., Mudgal, S., 2013. Analysis and presentation of the results of the public consultation "Unconventional fossil fuels (e.g. gas de pizarra) in Europe". European Commission D.G. Environment.

- Conley, S., Franco, G., Faloon, I., Blake, D.R., Peisch, J., Ryerson, T.B., 2016. Methane emissions from the 2015 Aliso Canyon blowout in Los Angeles, CA. *Science* (sciencemag.org). Vol 351 Issue 6279.
- Cooper, J., Stamford, L., Azapagic, A., 2017. Sustainability of UK shale gas in comparison with other electricity options: Current situation and future scenarios. *Science of The Total Environment*. Volumes 619–620, 804-814.
- DEC NY, 2011. New York Department of Environmental Conservation (DEC). DEC NY Gob Doc. Materials Minerals Pdf. http://www.dec.ny.gov/docs/materials_minerals_pdf/rdsgeisch6b0911.pdf. Pag. 6/293 a 6/298. (REVISAR ENLACE ROTO).
- De Melo, I., Hays, J., Finkel M.L., 2014. The Role of Ethics in Gas de pizarra Policies. *Science of the Total Environment*, nº 470-471, 1114-1119.
- Department of Health, New York State, 2014. A Public Health Review of High Volume Hydraulic Fracturing for Shale Gas Development. Albany, NY, 2014. https://www.health.ny.gov/press/reports/docs/high_volume_hydraulic_fracturing.pdf.
- Directorate General for Research-European Commission, 2002. Socio Economic Tools for Sustainability Impact Assessment. The Contribution of EU Research to Sustainable Development. European Commission.
- Duman, R.J., 2012. Economic viability of shale gas production in the Marcellus Shale; indicated by production rates, costs and current natural gas prices. Michigan Technological University. Master's Thesis.
- Dunmade, I., 2017. A roadmap for lifecycle sustainability evaluation of shale gas fracking process. *Int. J. Global Energy Issues*. Vol 40, Nºs. 3/4, 2017.
- Dutzik, T., Rumpler, J., 2012. The Costs of Hydraulic Fracturing. The Price Tag of Dirty Drilling's Environmental Damage. Environment New York Research&Policy Center.
- Elliot, E., Trinh, P., Ma, X., Deziel, N.C., Leaderer, B.P., Ward, M.H., 2016. Unconventional oil and gas development and risk of childhood leukemia: Assessing the evidence. *Science of the Total Environment* 576, 138-147.
- EPA (United States Environmental Agency), 2016. Hydraulic Fracturing for Oil&Gas: Impacts from the Hydraulic Fracturing Water Cycle on Drinking Water Resources in the United States. Executive Summary. Washington, DC.
- Enagas, 2015. El Sistema Gasista Español.
- Ernst & Young, 2011. Shale gas in Europe: revolution or evolution? [https://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/Shale_gas_in_Europe_revolution_or_evolution/\\$File/EY-Shale_gas_in_Europe-revolution_or_evolution.pdf](https://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/Shale_gas_in_Europe_revolution_or_evolution/$File/EY-Shale_gas_in_Europe-revolution_or_evolution.pdf).

- FECYT, 2017. Federación Española para la Ciencia y la Tecnología (Ministerio de Economía, Gobierno de España). VIII Encuesta de percepción social de la ciencia y tecnología.
- Ferrar, J.K., Kriesky, J., Christen, L.C., Marshall, P.L., Malone, S., Sharma, K.R., Michanowicz, D., Goldstein, B., 2013. Assessment and longitudinal analysis of health impacts and stressors perceived to result from unconventional shale gas development in the Marcellus Shale region. *International journal of occupational and environmental health* 19, 104-112.
- Figueira, J.R., Greco, S., Roy, B., Slowinski, R., 2013. An overview of ELECTRE methods and their recent extensions. *J. Multi-Criteria Decis. Anal.* 20, 61–85.
- Food&Water Watch, 2013. The Social Costs of Hydraulic Fracturing. A Pennsylvania Case Study.
- Foster, D., Perks, J., 2012. Climate impact of potential gas de pizarra production in the EU. European Commission DG Clima.
- Gessal-Aciep, 2013. Evaluación preliminar de los recursos prospectivos de hidrocarburos convencionales y no convencionales en España.
- Greco, S., Matarazzo, B., Slowinski, R., 1997. Rough approximation of a preferential information. *Poznan University Technol.*
- Greco, S., Matarazzo, B., Slowinski, R., 1998. A new rough set approach to evaluation of bankruptcy risk. In: Zopounidis, C., Zopounidis, C. (Eds.), *Operational Tools in the Management of Financial Risks*. Springer, US, pp. 121–136.
- Greco, S., Matarazzo, B., Slowinski, R., 1999. The use of rough sets and fuzzy sets in MCDM. In: Gal Stewart, T.T., Gal Stewart, T.T., Hanne, T., Hanne, T. (Eds.), *Multicriteria Decision Making*. Springer, US, pp. 397–455.
- Greco, S., Matarazzo, B., Slowinski, R., 2001a. Rough set approach to decisions under risk. In: Ziarko, W., Ziarko, W., Yao, Y., Yao, Y. (Eds.), *Rough Sets and Current Trends in Computing*. Springer, Heidelberg, Berlin, pp. 160–169.
- Greco, S., Matarazzo, B., Slowinski, R., 2001b. Rough sets theory for multicriteria decision analysis. *Eur. J. Oper. Res.* 129, 1–47.
- Greco, S., Matarazzo, B., Slowinski, R., 2005. Decision rule approach. In: Figueira, J., Greco, S., Ehrgott, M. (Eds.), *Multi Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys*. Springer, New York, pp. 507–555.
- He, Y.Q., Wei, H., Wang, S.-Z., Zuo, W.-R., He, J.-F., 2008. Assessment and prediction model of China's energy assurance sustainability (Conference Paper) 2nd International Conference on Bioinformatics and Biomedical Engineering, iCBBE 20082008, Article number 4535464, Pages 4336-4341.
- Healy, D., 2012. Hydraulic Fracturing or Fracking. A Short Summary of Current Knowledge and

- Potential Environmental Impacts.). Department of Geology&Petroleum Geology. University of Aberdeen. Work for the Environmental Protection Agency.
- Hornbach, M.J., DeShon, H.R., Ellsworth, W.L., Stump, B., W., Hayward, C., Frohlich, C., Oldham, H.R., Olson, J.E., Magnani, M.B., Brokaw, C. & Luetgert, J.H., 2015. Causal factors for seismicity near Azle, Texas. *Nature Communications* 6, Article number: 6728.
- Hsueh, S.L., 2012. A Fuzzy Utility-Based Multi-Criteria Model for Evaluating Households' Energy Conservation Performance: A Taiwanese Case Study. *Energies* 5, 2818-2834.
- IEA, 2017. *World Energy Outlook 2017*.
- Jackson, R.B., Vengosh, A., Carey, J.W., Davies, R.J., Darrah, T.H., O'Sullivan, F., Pétron, G., 2014. The Environmental Costs and Benefits of Hydraulic Fracturing. *Annual Review of Environment and Resources* 39, 327-362.
- Kammen, D.M., Sunter, D.A., 2016. City-integrated renewable energy for urban sustainability. *Science* 352(6288), 922-928.
- Kazimieras Zavadskas E., Govindan K., Antucheviciene, J., Turskis, Z., 2016. Hybrid multiple criteria decision-making methods: a review of applications for sustainability issues. *Economic Research*. 29:1, 857-887.
- KontiĆ, B., Bohanec, M., KontiĆ, D., Trdin, N., Matko, M., 2016. Improving appraisal of sustainability of energy options - A view from Slovenia. *Energy Policy* 90, 154-171.
- Król, A., Kukulska-Zajac E., Gajec, M., Dobrzańska, M., Mostowska-Stąsiek, J., Nowak, J., 2017. M4ShaleGas - Measuring, monitoring, mitigating and managing the environmental impact of shale gas. M4ShaleGas Consortium.
- Kuhn, M., Umbach, F., 2011. Strategic Perspectives of Unconventional Gas. A game Changer with Implications for the EU's Energy Security. European Centre of Energy and Resource Security. Volume 1.
- Kumara, A., Sahb, B. Singh, A.R., Denga Y., Hea, X. Kumar, P., Bansal R.C., 2017. A review of multi criteria decision making (MCDM) towards sustainable renewable energy development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 69, 596-609.
- Kummetz D., 2011. Neun Lecks – null Information (nine leaks, zero information) *Taz* 10. <http://www.taz.de/1/nord/artikel/1/neun-lecks-null-information/>
- LaBelle M., 2012. Constructing post-carbon institutions: Assessing EU carbon reduction efforts through an institutional risk governance approach. *Energy Policy* 40, 390-403.
- Lechtenböhmer, S., Altmann, M., Capito, S., Matra, Z., Weindorf, W., Zittel, W., 2011. Impacts of Shale Gas and Shale Oil Extraction on the Environment and on Human Health. Directorate-General for Internal Policies. European Parliament.

- Luo, Z., Zhou, J., Zheng, L., Mo, L., He, Y., 2010. A TFN-ANP based approach to evaluate Virtual Research Center comprehensive performance. *Expert Systems with Applications* 37, 8379–8386.
- Lucks, F., Siebenhüner, B., 2007. Transdisciplinarity for social learning? The contribution of the German socio-ecological research initiative to sustainability governance. *Ecological Economics* 63, 418–426.
- Maloney, K.O., Yoxtheimer, D.A., 2012. Production and Disposal of Waste Materials from Gas and Oil Extraction from the Marcellus Shale Play in Pennsylvania. *Environmental Practice* Volume 14, Issue 4, 278–287.
- Mardani, A., Zavadskas, E.K., Khalifah, Z., Nor, K.M., Khoshnoudi, M., 2017. A review of multi-criteria decision-making applications to solve energy management problems: Two decades from 1995 to 2015. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 71, 216–256.
- Martín-Gamboa, M., Iribarren, D., García-Gusano, D., Dufour, J., 2017. A review of life-cycle approaches coupled with data envelopment analysis within multi-criteria decision analysis for sustainability assessment of energy systems. *Journal of Cleaner Production* 150, 164–174.
- McKenzie, L.M., Witter, R.Z., Newman, L.S., Adgate, J.L., 2012. Human health risk assessment of air emissions from development of unconventional natural gas resources. *Science of the Total Environment* 424, 79–87.
- Mikhailov, L., 2003. Deriving priorities from fuzzy pairwise comparison judgements, *Fuzzy Sets and Systems* 134, 365–385.
- Mikhailov, L., 2004. Group prioritization in the AHP by fuzzy preference programming method. *Computers & Operations Research* 31, 293–301.
- Mistré, M., Crénes, M., Hafner, M., 2017. Gas de pizarra Production Costs: Historical Development and Outlook. *Insight_energy* (European Commission). Rapid Response Energy Brief 10.
- Moran, M.D., Cox Rachel, A.B., Wells, R.L., Benichou, C.C., McClung, M.R., 2015. Habitat Loss and Modification Due to Gas Development in the Fayetteville Shale. *Environmental Management* 55, Issue 6, 1276–1284.
- Moslehi, S., Arababadi, R., 2016. Sustainability Assessment of Complex Energy Systems Using Life Cycle Approach-Case Study: Arizona State University Tempe Campus. *Procedia Engineering* 145, 1096–1103.
- Muehlenbachs, L., Spiller, E., Timmins, C., 2015. The Housing Market Impacts of Shale Gas Development, *American Economic Review*, vol. 105, nº 12, pp. 3633–3659.
- Ness, B., Urbel Piirsalu, E., Anderberg, S., Olsson, L., 2007. Categorising tools for sustainability assessment. *Ecological Economics* 60, 498–508.

- Northrup, J. L., 2010. The Unique Environmental Impacts of Horizontally Hydrofracking Shale. Otsego2000, August 18.
- OECD, 1993. Core Set of Indicators for Environmental Performance Reviews. Paris.
- OECD, 1998. Towards Sustainable Development: Environmental Indicators. OECD, Paris.
- Ossdnik, W., Schinke, S., Kaspar, R.H., 2016. Group Aggregation Techniques for Analytic Hierarchy Process and Analytic Network Process: A Comparative Analysis. *Group Decision and Negotiation Springerlink.com* 25-2, 421-457.
- Peng, L., Meyerhoefer, C., Chou, S., 2018. The Health Implications of Unconventional Natural Gas Development in Pennsylvania. *Health Economics (UK)* 27, Issue 6, 956-983.
- Pislaru, M., Trandabat, A., Avasilcai, S., 2011. Environmental Assessment for Sustainability Determination bases on Fuzzy Logic Model. 2nd International Conference on Environmental Science and Technology IPCBEE vol 6. Singapore.
- Porter, M.E., Gee, D.S., Pope, G.J., 2015. America´s unconventional energy opportunity. The Boston Consulting Group-Harvard University.
- Pöyry, 2013. Macroeconomic Effects of European Shale Gas Production. Pöyry Management Consulting (UK) Ltd, Oxford (UK).
- Rahm, B. G., Bates, J.T., Bertoia, R., Galford A.E., Yoxtheimerb, D.A., Riha S.J., 2013. Wastewater Management and Marcellus Shale Gas Development: Trends, Drivers, and Planning Implications. *Journal of Environmental Management* 120, 105-113.
- Ren, J. Lützen, M., 2015. Fuzzy multi-criteria decision-making method for technology selection for emissions reduction from shipping under uncertainties. *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 40, 43-60.
- Ren, J., Tan, S., Goodsite M.E., Sovacool B.K., Dong, L., 2015. Sustainability, shale gas, and energy transition in China: Assessing barriers and prioritizing strategic measures. *Energy*, n° 84, 551-562.
- Ren, J., Ren, X., 2018. Sustainability ranking of energy storage technologies under uncertainties. *Journal of Cleaner Production* 170, 1387-1398.
- Rösch, C., Bräutigam, K-R., Kopfmüller, J., Stelzer, V. Fricke, A., 2018. Sustainability assessment of the German energy transition. *Sustainability and Society* 8. Issue 1. Article 12.
- Roy, B., 1996. *Multicriteria Methodology for Decision Aiding*. Kluwer Academic Publishers.
- Roy, B., Słowinski, R., 2013. Questions guiding the choice of a multicriteria decision aiding method. *EURO J. Decision Processes* 1, 69–97.
- Rozell, D.J., Reaven, S.J., 2012. Water Pollution Risk Associated with Natural Gas Extraction from the Marcellus Shale. *Risk Analysis* 32, n° 8 1382-1393.

- Santoyo-Castelazo, E., Azapagic, A., 2014. Sustainability assessment of energy systems: integrating environmental, economic and social aspects. *Journal of Cleaner Production* 80, 119-138.
- Saaty, R.W., 1987. The Analytic Hierarchy Process – what it is and how it is used. *Math Modelling* 9, n° 3-5, 161-176.
- Saaty, R.W., 2016. Decision Making in Complex Environments. The Analytic Network Process (ANP) for Dependence and Feedback. Creative Decisions Foundation. https://superdecisions.com/sd_resources/v28_man02.pdf.
- Saaty, T.L., 1996. The analytic network process: decision-making with dependence and feedback. RWS Publications.
- Saaty, T.L., 2001. Decision making with independence and feedback: the analytic network process. Pittsburg, RWS Publications, 2001.
- Saaty T.L., 2003. Decision-making with the AHP: Why Is the Principal Eigenvector Necessary. *European Journal of Operational Research* 145, 85-91.
- Saaty T.L., 2006. The analytic network process. *International Series in Operations Research and Management Science* 95, 1-26.
- Saaty, T.L., 2008. Relative Measurement and Its Generalization in Decision Making: Why Pairwise Comparisons Are Central in Mathematics for the Measurement of Intangible Factors- The Analytic Hierarchy/Network Process. *Review of the Royal Academy of Exact, Physical and Natural Sciences. Series A: Mathematics (RACSAM)*102(2), 251-318.
- Saaty, T.L., 2013. The Modern Science of Multicriteria Decision Making and Its Practical Applications. The AHP/ANP Approach. *Operations Research* 61 (5): 1101-1118.
- Singha, R.K., Murtyb, H.R., Guptac, S.K., Dikshitc, A.K., 2012. An overview of sustainability assessment methodologies. *Ecological Indicators* 15, 281–299.
- Shortall, R., Davidsdottir, B., Axelsson, G., 2015. Development of a sustainability assessment framework for geothermal energy projects. *Energy for Sustainable Development* 27, 28-45.
- Slowinski, R., Greco, S., Matarazzo, B., 2009. Rough sets in decision making. In: Meyers, R., Meyers, R. (Eds.), *Encyclopedia of Complexity and Systems Science*. Springer, New York, pp. 7753–7786.
- Stamford, L., Azapagic, A., 2014. Life cycle environmental impacts of UK shale gas. *Applied Energy* 134, 506-518.
- U.S. Energy Information Administration, 2015, Washington. Technically Recoverable Shale Oil and Shale Gas Resources - Spain.
- U. S. Nuclear Regulatory Commission, 2007. Reactor site criteria. Geologic and seismic siting criteria. NRC Regulations, part 100-0023).

- Vengosh, A., Warner, N., Jackson, R., Darrah T., 2013. The Effects of Shale Gas Exploration and Hydraulic Fracturing on the Quality of Water Resources in the United States. *Procedia Earth and Planetary Science* 7, 863-866.
- Wang, Q., Chen, X., Jha, A.N., Rogers, H., 2014. Natural Gas from Shale Formation - the Evolution, Evidences and Challenges of Shale Gas Revolution in United States. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 30, 1-28.
- Weijermars, R., 2013. Economic appraisal of shale gas plays in Continental Europe. *Applied Energy* 106, 100-115.
- Weinberger, B., Greiner, L.H., Walleigh, L., Brown, D., 2017. Health symptoms in residents living near shale gas activity. A retrospective record review from the Environmental Health Project. *Preventive Medicine Reports* 8, 112-115.
- WG1-AR5 IPCC, 2013. Working Group I. Contribution to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WG1AR5_all_final.pdf.
- Whitmarsh, L., Nash, N., Upham, P., Lloyd, A., J, Verdond, J.P., Kendall, J.M., 2015. UK public perceptions of shale gas hydraulic fracturing: The role of audience, message and contextual factors on risk perceptions and policy support. *Applied Energy* 160, 419-430.
- Xu, P., Chang, E.H.W., Visscher, H.J., Zhang, X., Wu, Z., 2015. Sustainable building energy efficiency retrofit for hotel buildings using EPC mechanism in China: analytic Network Process (ANP) approach. *Journal of Cleaner Production* 107, 378-388.
- Zhou, X., 2012. Fuzzy Analytical Network Process implementation with Matlab. *A Fundamental Tool for Scientific Computing and Engineering Applications*. Volume 3, Intech, pp. 133-159.

Conclusiones

Conclusions

CAPÍTULO 3. CONCLUSIONES

3.1. Conclusiones

Primera.- Mediante un procedimiento que combina lógica difusa y un Proceso Analítico en Red (Fuzzy-ANP) aplicado a la fracturación hidráulica en España, se ha conseguido sintetizar y cuantificar un concepto indefinido, como es la sostenibilidad, mediante el establecimiento de un ranking de prioridad de factores en base a la influencia relativa de los mismos sobre la sostenibilidad de la fracturación hidráulica en España.

Segunda.- Para la aplicación del procedimiento ANP-Fuzzy se han identificado 14 factores característicos de la sostenibilidad de la fracturación hidráulica en España, agrupando la información de cada factor en cuatro clústeres: ambiental, económico, socio-político y tecnológico.

Para la determinación de los pesos de los diferentes factores y clústeres se ha aplicado el "Método de Programación de Preferencias" de Mikhailov, utilizando la programación mediante el software Matlab-Mathworks.

En base a lo anterior, se ha introducido el inventario de la información ambiental, económica, socio-política y tecnológica, combinando lógica difusa con el Proceso Analítico en Red (ANP).

Tercera.- De la aplicación de la metodología expuesta en el punto anterior se concluye que el factor más significativo es la percepción social (SP3) representando un 16,92% del total. Los aspectos sociales, en su conjunto, con un 37,85% son los más relevantes (resultados basados en los juicios del autor). Como segundo factor relevante se sitúa la experiencia y dependencia tecnológica (T1), con un 13,82% del ranking total. En tercera posición del ranking se sitúan las cargas ambientales (MA1), con un 13,59% del total.

Cuarta.- Se ha repetido el proceso incorporando el criterio de valoración de académicos mediante la realización de encuestas. Para resolver las inconsistencias se ha aplicado la linealización de las matrices resultantes de las encuestas.

Los resultados son similares si se incorporan las opiniones de académicos del área de la Ingeniería Química, en base a encuestas, como se puede comprobar en la figura 3.1. demostrando de esta forma la robustez del modelo aplicado.

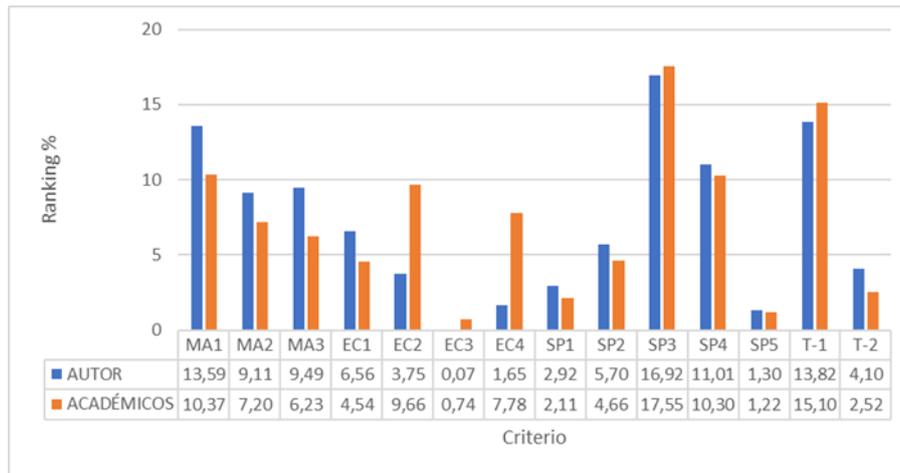


Figura 3.1. Comparación de las prioridades de criterios obtenidas con los juicios del autor y los del grupo de académicos.

Quinta.- En función de los resultados anteriores, la toma de decisiones se puede llevar a cabo mediante un proceso jerárquico, en el que priman los aspectos socio-políticos. Por ello, se recomienda la existencia de un convenio social previo en el marco estatal, autonómico y municipal sobre el desarrollo específico de la fracturación hidráulica, para valorar las variables ambientales y económicas de la sostenibilidad en la toma de decisión.

Sexta.- Los aspectos ambientales, en su conjunto, ocupan la segunda posición, y condicionan de manera importante la percepción social que es el factor predominante. La superación del impacto de los aspectos socio-políticos y ambientales en la toma de decisión debe ser previa a otro tipo de consideraciones económicas y tecnológicas.

Septimo.- El resultado obtenido es coincidente con la literatura reciente sobre la sostenibilidad de la fracturación hidráulica, que señala la importancia de la aceptación social, especialmente en el contexto de la minería y la industria del petróleo y gas, y otros proyectos relacionados con los recursos, introduciéndose el término de licencia social para operar (SLO según sus siglas en inglés), (Raufflet, et al., 2013). La licencia social para operar se deriva de la percepción que las comunidades tienen de una empresa y sus operaciones y comprende la aceptación y aprobación continua de una empresa por parte de las partes interesadas.

Octavo.- La Licencia social (convenios con los sectores interesados) se configura como herramienta de ayuda para gestionar el riesgo socio-político asociados a las actividades de fracturación hidráulica. El primer paso es conciliar el riesgo con las expectativas externas, mediante un acercamiento menos defensivo y más constructivo a la colaboración y compromiso de las partes interesadas (Owen et al., 2013).

Noveno.- De acuerdo con la bibliografía , Prno, et al., 2012 señala la necesidad de obtener la licencia social de las comunidades locales para operar en el sector de la minería, con el fin de evitar conflictos potencialmente peligrosos y la exposición a riesgos sociales. Smith et al., 2015 remarca la necesidad de la licencia social debido al alto componente emocional del debate sobre la fracturación hidráulica. Boutilier et al., 2012 establece las condiciones que debe establecer una compañía para alcanzar el mayor nivel de licencia social, por este orden: legitimidad, credibilidad y confianza (de menor a mayor aceptación social). Morrison, 2014 propone un modelo de tres hebras formado por las licencias económica, legal y social para el desarrollo de una actividad.

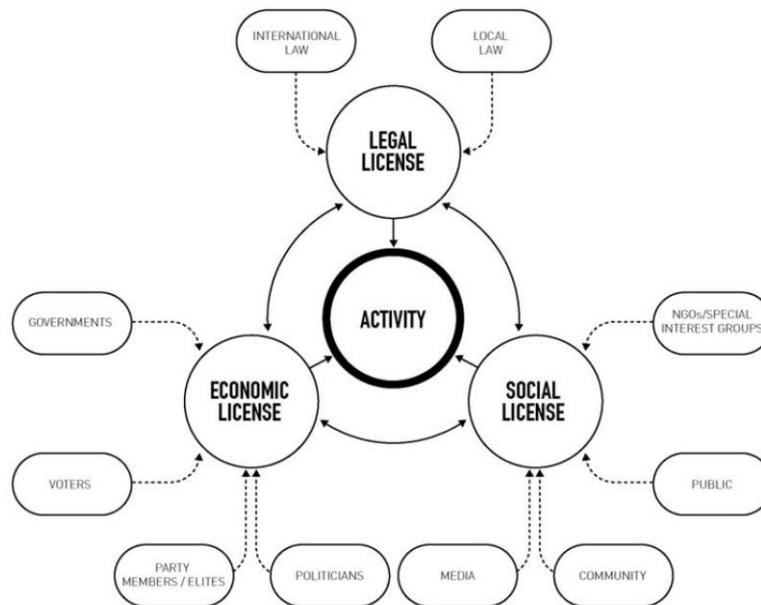


Figura 3.2. Modelo de tres hebras, adaptado de Morrison, 2014. Fuente: Gehman et al., 2014

Decima.- Los resultados obtenidos, que resaltan la importancia prioritaria de la percepción social, son invariables ante sensibles cambios en los juicios. La sensibilidad ha sido analizada como la variación mínima en la desviación del juicio inicial para que el orden de prioridad de los factores de la sostenibilidad se vea modificado. El modelo es robusto a los cambios en la importancia de EC1 (rentabilidad), y prácticamente insensible a EC3 (impacto en el PIB) y SP5 (pérdida o ganancia patrimonial), manteniendo SP3 la primera posición en cualquier caso ante cualquier variación de dichos parámetros.

Decimoprimera.- Los factores que muestran una mayor sensibilidad en general son, por este orden: SP4 (falta de regulación) SP3 (percepción social) T1 (experiencia, dependencia tecnológica, infraestructuras) y MA1 (cargas ambientales). Se requiere un descenso del 19,18% en la importancia

de SP4 para que T1 desplace a SP3 de la primera posición. Un aumento en la importancia de SP4 del 7,15% hace que MA1 pase a ocupar la segunda posición, aunque manteniendo SP3 la primera.

Decimosegunda.- En la Fig. 3.3. se muestran los principales cambios en la importancia dada por los juicios a los factores que motivan la modificación del orden inicial, así como los motores de dichos cambios.

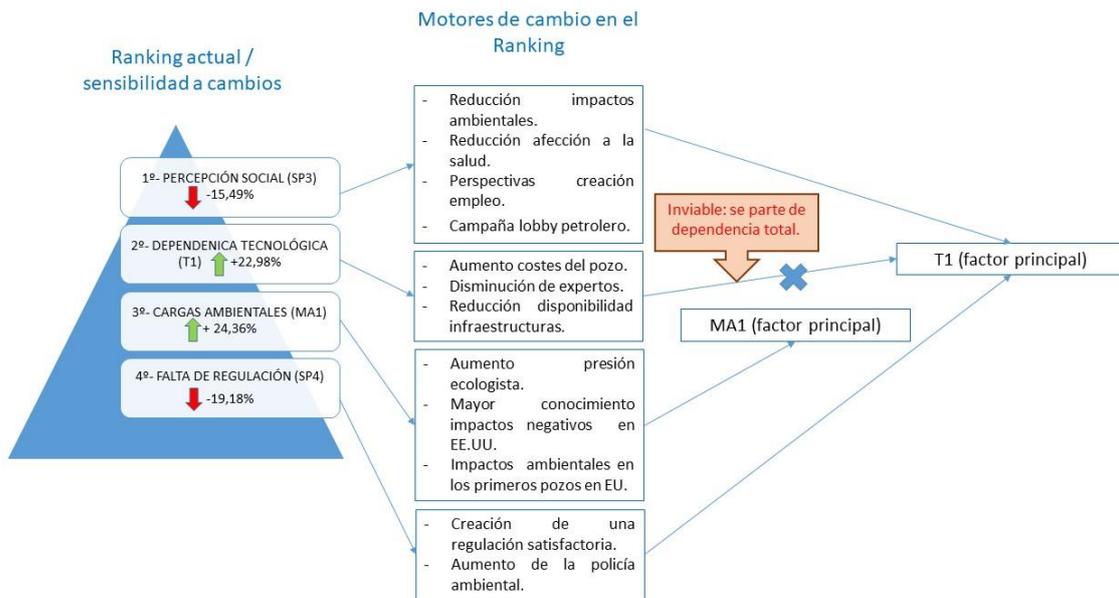


Figura 3.3. Cambios en la importancia de los criterios que modifican el ranking de prioridades en la sostenibilidad de la fracturación hidráulica.

Se concluye que el modelo es poco sensible a los cambios en los juicios iniciales, manteniéndose la percepción social como el aspecto más relevante desde el punto de vista de la sostenibilidad.

Decimotercera.- Una vez superados estos aspectos socio-políticos y ambientales (por cambios en la percepción social, disminución de los impactos ambientales como consecuencia de mejoras tecnológicas, regulación estricta etc.), es determinante la experiencia, dependencia tecnológica e infraestructuras, principalmente porque determina además de los impactos ambientales, la rentabilidad de la técnica. Así, como se ha podido ver en el apartado 2.3.2.1. el elevado coste del pozo, que se deriva de la actual dependencia tecnológica de EE.UU., hace que el fracturación hidráulica sea económicamente inviable en la actualidad en España.

En el Anexo III se ha desarrollado un análisis de la rentabilidad de un pozo de gas de pizarra en España. La viabilidad económica depende de que se alcancen las siguientes condiciones:

- Los costes de capital deben ser menores de 15 millones de dólares.
- Asumiendo que en España se logren rebajar los costes de ejecución de un pozo hasta los 15 millones de dólares, los precios del gas no deben bajar de los 10 dólares por cada millón de Btu.

La reducción de la dependencia tecnológica vendrá determinada por una fuerte implantación de la técnica en países europeos con grandes reservas y poco rechazo social, como Polonia, que provoque el desarrollo de una industria asociada a la fracturación hidráulica y la presencia de mano de obra especializada en la materia.

En la figura 3.4. se esquematiza el proceso que llevaría a la implantación de la tecnología del gas de pizarra en nuestro país, y que comienza con la superación de las barreras socio-políticas y ambientales.

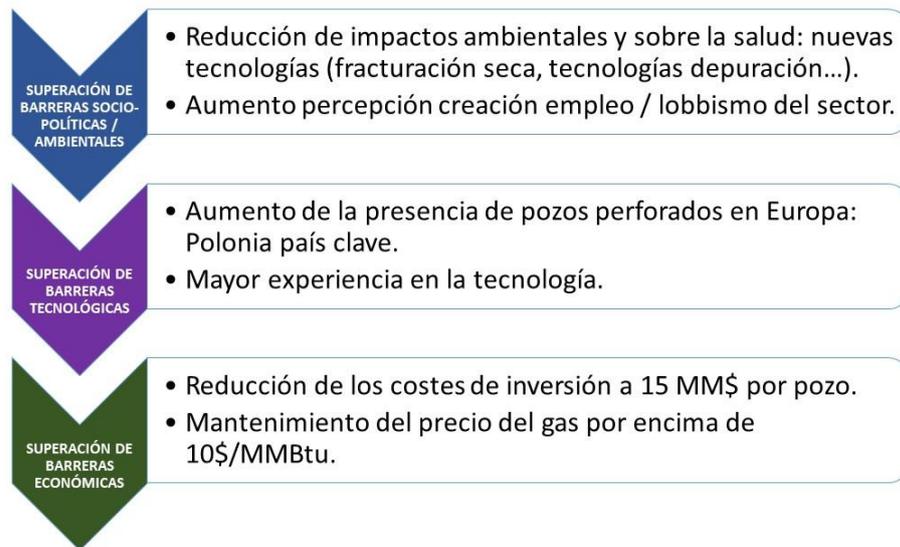


Figura 3.4. Secuencia jerárquica de superación de barreras existentes en España para la implantación de la fracturación hidráulica.

Una vez superados estos aspectos socio-políticos y ambientales, mediante el logro de un compromiso viable con la Sociedad (licencia social), el siguiente aspecto determinante es la experiencia, dependencia tecnológica e infraestructuras. Para la superación de las barreras

tecnológicas es necesario la reducción significativa del coste del pozo y el mantenimiento del precio del gas.

3.2. Recomendaciones

Aplicada la metodología de evaluación de la sostenibilidad de la fracturación hidráulica en España, se considera necesario hacer un seguimiento en el tiempo de los datos manejados en los inventarios ambiental, económico, socio-político y tecnológico, que pueden verse modificados por un mayor conocimiento de la técnica y cambios en la percepción social de la misma.

Los proyectos piloto o de prueba, científicamente monitoreados son claves para el avance de la tecnología y el proceso de toma de decisiones políticas, si se implementan bajo condiciones estrictas y estándares claramente definidos. Permiten un control paso a paso y la corrección inmediata de las posibles desviaciones. Además, la estrecha cooperación entre la industria, la ciencia, las autoridades y la población en estos proyectos, puede aumentar sustancialmente la confianza pública en la fracturación hidráulica (Acatech, 2016).

Acatech, 2016 define las principales funciones de los proyectos piloto monitoreados técnica y científicamente:

- Demostrar que la técnica de fracturación hidráulica puede ser empleada de forma segura, rentable, y sin daños al medio ambiente, bajo las respectivas condiciones locales.
- Facilitar a las autoridades responsables un test para la futura regulación de los proyectos de gas de pizarra.
- Obtener información que permita una mejor evaluación de la potencial viabilidad económica de los recursos.
- Desarrollar sistemas de seguimiento y procedimientos normalizados para cada fase del proyecto, desde las investigaciones previas a la explotación del recurso.
- Comunicar al público las diferentes etapas y sus resultados en una campaña de información clara y transparente y demostrando cómo el público puede verse implicado en el proceso de toma de decisiones.

La ejecución de proyectos piloto debe realizarse en dos emplazamientos diferentes para verificar si los resultados obtenidos son extrapolables a otros lugares.

Se recomienda el seguimiento a lo largo del tiempo de los resultados obtenidos mediante la aplicación de la evaluación multicriterio propuesta en este trabajo.

Si se logra una licencia social para el desarrollo de dos proyectos piloto (en zonas con bajo impacto ambiental previsible), estos proyectos permitirían un mayor conocimiento de las implicaciones de la fracturación hidráulica en nuestro país y una toma de posición de las partes interesadas con una mayor información de partida.

CHAPTER 3. CONCLUSIONS

3.3. Conclusions

First.- Through a procedure that combines fuzzy logic and a Network Analytical Process (Fuzzy-ANP) applied to hydraulic fracturing in Spain, it has been possible to synthesize and quantify an indefinite concept, such as sustainability, by establishing a ranking of priority factors based on their relative influence on the sustainability of hydraulic fracturing in Spain.

Second.- Meant for the application of the ANP-Fuzzy procedure, 14 characteristic factors for the sustainability of hydraulic fracturing in Spain have been identified, grouping the information of each factor into four clusters: environmental, economic, socio-political and technological.

In order to determine the weights of the different factors and clusters, Mikhailov's "Preference Programming Method" has been applied, using Matlab-Mathworks programming.

Based on the above, the inventory of environmental, economic, socio-political and technological information has been entered, combining fuzzy logic with the Analytical Network Process (ANP).

Third.- From the application of the methodology exposed in the previous point it is concluded that social perception (SP3) is the most significant factor, representing 16.92% of the total. Social aspects, as a whole, with 37.85% are the most relevant (results based on the author's judgments). The second relevant factor is the experience and technological dependence (T1), with 13.82% of the total ranking. Environmental burdens (MA1) rank third, with 13.59% of the total.

Fourth.- The process has been repeated, incorporating criteria of academics by means of surveys. To solve the inconsistencies, the linearization of the matrices resulting from the surveys has been applied.

The results are similar if the opinions of academics from the Chemical Engineering area are incorporated, based on surveys, as can be seen in figure 3.1. demonstrating in this way the robustness of the model applied.

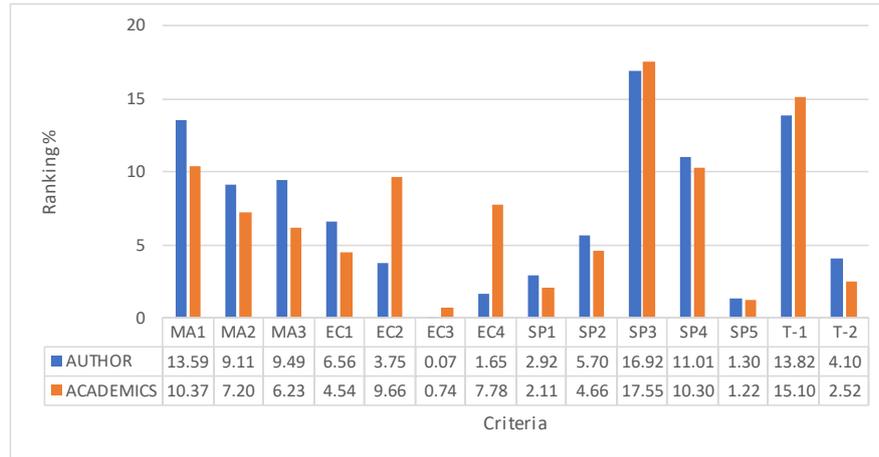


Figure 3.1. Comparison of the criteria priorities obtained with the judgments of the author and those of the group of academics.

Fifth.- Depending on previous results, decision making can be carried out through a hierarchical process, in which socio-political aspects prevail. Therefore, the existence of a prior social agreement in the state, autonomous and municipal framework on the specific development of hydraulic fracturing is recommended, in order to assess the environmental and economic variables of sustainability in decision-making.

Sixth.- Environmental aspects, as a whole, occupy the second position, and significantly condition the social perception which is the predominant factor. Overcoming the impact of socio-political and environmental aspects in the decision-making must be prior to other economic and technological considerations.

Seventh.- The result obtained is consistent with recent literature on the sustainability of hydraulic fracturing, which points out the importance of social acceptance, especially in the context of mining and the oil and gas industry, and other resource-related projects, introducing the term of social license to operate (SLO according to its acronym in English), (Raufflet, et al., 2013). The social license to operate derives from the perception that communities have of a company and its operations and comprises the acceptance and ongoing approval of a company by stakeholders.

Eighth.- Social License (agreements with the interested sectors) is configured as a tool to help managing the socio-political risk associated with hydraulic fracturing activities. The first step is to reconcile the risk with external expectations, through a less defensive and more constructive approach to stakeholders' collaboration and engagement (Owen et al., 2013).

Ninth.- According to the bibliography, Prno, et al., 2012 points to the need to obtain social license from local communities to operate in the mining sector, in order to avoid potentially dangerous conflicts and exposure to social risks. Smith et al., 2015 highlights the need for social licensing due to the high emotional component of the debate on hydraulic fracturing. Boutilier et al., 2012 sets

out the conditions that a company must establish in order to achieve the highest level of social license, in this order: legitimacy, credibility and trust (from lowest to highest social acceptance). Morrison, 2014 proposes a three-strand model formed by economic, legal and social licenses for the development of an activity.

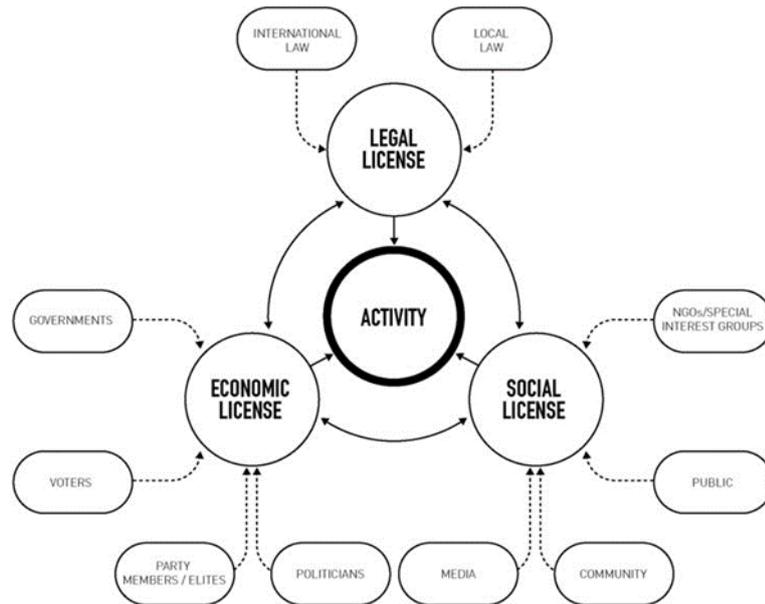


Figure 3.2. Three-strand model, adapted from Morrison, 2014. Source: Gehman et al., 2014

Tenth.- The results obtained, highlighting the priority importance of social perception, are invariable before sensitive changes in judgments. Sensitivity has been analyzed as the minimum variation in the deviation from the initial judgment so that the order of priority of the sustainability factors is modified. The model is robust to changes in the importance of EC1 (profitability), and practically insensitive to EC3 (impact on GDP) and SP5 (patrimonial loss or gain), maintaining SP3 first position in any case before any variation of these parameters .

Eleventh.- Factors showing greater sensitivity in general are, in this order: SP4 (lack of regulation) SP3 (social perception) T1 (experience, technological dependence, infrastructures) and MA1 (environmental burdens). A 19.18% decrease in the importance of SP4 is required for T1 to displace SP3 from first position. An increase in the importance of SP4 of 7.15% causes MA1 to move to second position, although maintaining SP3 in first position.

Twelfth.- Fig. 3.3. shows the main changes in the importance given by the judgments to the factors that motivate the modification of the initial order, as well as the driving forces behind those changes.

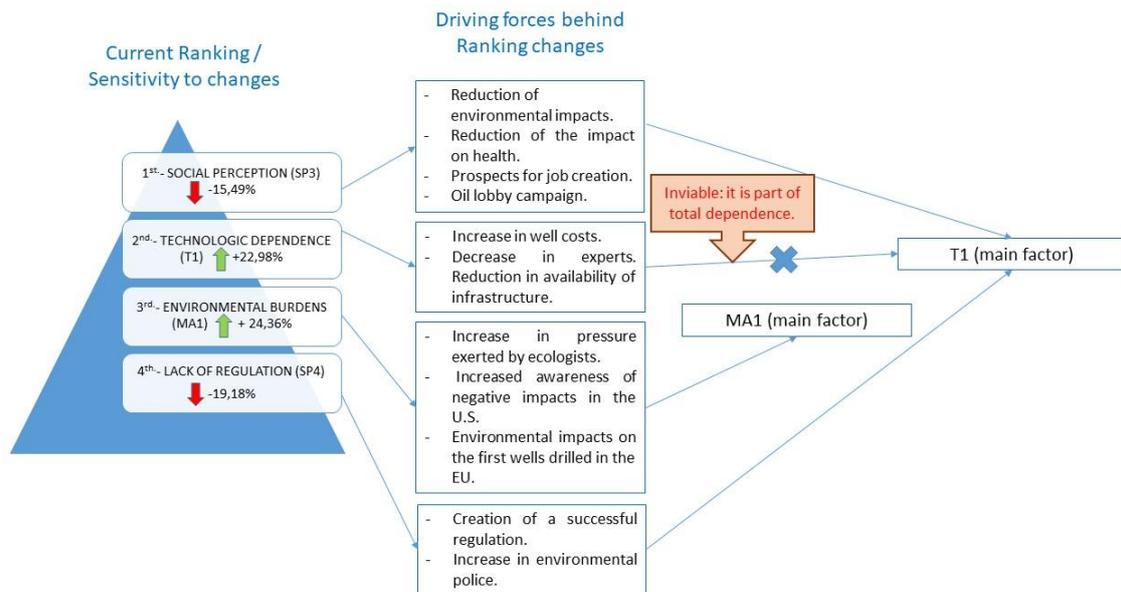


Figure 3.3. Changes in the importance of the criteria that modify the ranking of priorities in the sustainability of hydraulic fracturing.

It is concluded that the model is not very sensitive to changes in the initial judgments, maintaining social perception as the most relevant aspect from the point of view of sustainability.

Thirteenth.- Once these socio-political and environmental aspects have been overcome (due to changes in social perception, reduction of environmental impacts as a result of technological improvements, strict regulation, etc.), experience, technological dependence and infrastructures are crucial, mainly because they also determine (in addition to the environmental impacts) the profitability of the technique. Thus, as it has been seen in section 2.3.2.1. The high cost of the well, which is derived from the current technological dependence of the US, makes hydraulic fracturing economically unviable at present in Spain.

Annex III, contains an analysis of the profitability of a shale gas well in Spain. The economic viability depends on reaching the following conditions:

- Capital costs must be less than 15 million dollars.
- Assuming that in Spain it is possible to reduce the execution costs of the well to 15 million dollars, gas prices should not fall below 10 dollars per million Btu.

Reduction of technological dependence will be determined by a strong implementation of the technique in European countries with large reserves and little social rejection, such as Poland, which

causes the development of an industry associated with hydraulic fracturing and the presence of specialized manpower in the matter.

Figure 3.4 outlines the process that would lead to the implementation of shale gas technology in our country, beginning with overcoming socio-political and environmental barriers.



Figure 3.4. Hierarchical sequence of overcoming existing barriers in Spain for the implementation of hydraulic fracturing.

Once these socio-political and environmental aspects have been overcome, through the achievement of a viable commitment to Society (Social License), the next determining aspect is experience, technological dependence and infrastructures. In order to overcome the technological barriers it is necessary to reduce significantly the cost of the well and to maintain gas prices.

3.4. Suggestions

Once the methodology for evaluating the sustainability of hydraulic fracturing in Spain has been applied, it is considered necessary to monitor over time the data handled in the environmental, economic, socio-political and technological inventories, which may be modified by greater knowledge of the technique and changes in its social perception.

Scientifically monitored pilot or test projects are key to the advancement of technology and the political decision making process if implemented under strict conditions and clearly defined standards. They allow a step-by-step control and the immediate correction of possible deviations. In

addition, close cooperation between industry, science, authorities and the population in these projects can substantially increase public confidence in hydraulic fracturing (Acatech, 2016).

Acatech, 2016 defines the main functions of technically and scientifically monitored pilot projects:

- Demonstrating that hydraulic fracturing can be used safely, cost-effectively, and without damage to the environment, under the respective local conditions.
- Providing the responsible authorities with a test for the future regulation of shale gas projects.
- Obtaining information that allows a better evaluation of the potential economic viability of the resources.
- Developing monitoring systems and standardised procedures for each phase of the project, from preliminary investigations to exploitation of the resource.
- Communicating the different stages and their results to the public in a clear and transparent information campaign, and demonstrating how the public can be involved in the decision-making process.

The implementation of pilot projects must be carried out in two different locations to verify whether the results obtained can be extrapolated to other locations.

It is recommended to monitor over time the results obtained through the application of the multicriteria evaluation proposed in this work.

If a social license is obtained for the development of two pilot projects (in areas with low foreseeable environmental impact), these projects would allow greater knowledge of the implications of hydraulic fracturing in our country and a stakeholder position based on better starting information.

3.5. Referencias del Capítulo 3 / Chapter 3 References

Acatech (Ed), 2016. Hydraulic Fracturing A technology under debate. Position paper, April 2016. National Academy of Science and Engineering. Munich, 2016.

Boutilier, R. G., Thomson, I., 2012. Modelling and Measuring the Social License to Operate: Fruits of a Dialogue Between Theory and Practice.

<http://sociallicense.com/publications/Modelling%20and%20Measuring%20the%20SLO.pdf>

Gehman, J., Lefsrud, L.M., Fast, S., 2017. Social licence to operate: Legitimacy by another name?. Canadian Public Administration, 60(2): 293-317.

- Morrison, J., 2014. *The Social Licence: How to Keep Your Organization Legitimate*. New York Palgrave, Macmillan.
- Owen, J.R., Kemp, D. . 2013. Social licence and mining: A critical perspective. *Resources Policy* 38, 29-35.
- Prno, J., Slocombe, D.S., 2012. Exploring the origins of ‘social license to operate’ in the mining sector: Perspectives from governance and sustainability theories. *Resources Policy* 37, 346-357.
- Rauffletm, E., Baba, S., Perras, C., Delannon, N., 2013. “Social license.” In *Encyclopedia of Corporate Social Responsibility*, edited by Samuel O. Idowu, Nicholas Capaldi, Liangrong Zu and Ananda Das Gupta. New York: Springer, pp. 2223–30.
- Smith, D.C., Richards, J.M., 2015. social license to operate: hydraulic fracturing-related challenges facing the oil & gas industry. *Oil and Gas, Natural Resources, and Energy Journal*, Vol 1, Nº 2.

Anexos

ANEXO I. CÁLCULOS DE EVALUACIÓN DE PREFERENCIAS

Método de programación de preferencias – programación mediante Matlab-Mathworks.

Mediante Matlab se puede resolver la adquisición de los pesos locales de las matrices de comparación por pares del método Fuzzy-ANP, obteniendo la matriz original no ponderada (etapa 2 del apartado 2.3) y la obtención de la matriz de ponderación de clústeres (etapa 3). Para ello, se utilizará el método de Programación de Preferencias con la ayuda de Matlab según se describe a continuación.

Cálculo de los pesos locales de las matrices fuzzy de comparación por pares Método de Programación de Preferencias mediante Matlab (Zhou, 2012).

$$\begin{aligned}
 & \text{Max } \lambda \\
 & (m_{ij}-l_{ij}) \lambda \omega_j - \omega_i + l_{ij} \omega_j \leq 0, \\
 & (u_{ij}-m_{ij}) \lambda \omega_j + \omega_i - u_{ij} \omega_j \leq 0, \\
 & \sum_{k=1}^n \omega_k = 1, \omega_k > 0, k=1,2,\dots,n \\
 & i= 1,2,\dots,n-1; j=2,3,\dots,n; j>i.
 \end{aligned} \tag{1}$$

Los pesos locales se obtienen resolviendo el problema no lineal anterior.

Las matrices fuzzy de comparación por pares son de diferentes órdenes (2*2), (3*3),..., (n*n).

Se deben definir una serie de funciones en Matlab (archivos .m). El programa principal se va a denominar "networkmain.m".

En Matlab los problemas no lineales se pueden resolver mediante la función "fmincon", que se utilizará en el programa "networkmain.m". La expresión completa de la función es "fmincon(fun, x0, A, b, Aeq, beq, VLB, VUB, nonlcon)".

tanto, el primer paso es transformar las matrices fuzzy de comparación por pares en formato de programación no lineal, pudiendo ser resueltas posteriormente mediante la función "fmincon".

“Fun” es la función objetivo de un problema no lineal. Las variables en la función objetivo se denominan $x(i)$. Si hay n variables, serán $x(1), x(2), \dots, x(n)$. Para una matriz de comparación $(n \times n)$ hay $(n+1)$ variables, correspondientes a n pesos locales y al índice de consistencia λ .

La función objetivo en el método de Programación de Preferencias Fuzzy (FPP) es adquirir el máximo valor, pero la “fmincon” en Matlab, por defecto busca el mínimo valor, así que es necesario convertir $x(n+1)$ en $-x(n+1)$ en la función “fmincon”.

“ x_0 ” es el valor inicial del problema no lineal, y tiene la misma escala que el número de variables. Cada peso local $x(i)$ toma valores en el rango $[0,1]$, y la suma satisface que $x(1)+x(2)+\dots+x(n)=1$. El índice de consistencia toma valores en el rango $(-\infty,1]$.

“ A y b ” son los coeficientes de la restricción de la desigualdad no lineal $Ax \leq b$. Como no hay restricciones en el problema FANP, a y b pueden ignorarse o sustituirse por dos vectores vacíos.

“ A_{eq} y b_{eq} ” son los coeficientes de la restricción de la desigualdad no lineal $A_{eq} \cdot x = b_{eq}$. De acuerdo con FANP, la suma de los pesos locales debe ser la unidad, por lo que $x(1)+x(2)+\dots+x(n)+0x(n+1)=1$, donde $x(1), x(2), \dots, x(n)$ son los pesos locales primero, segundo y enésimo, y $x(n+1)$ es el índice de consistencia. Por lo que tenemos que $A_{eq}=[1 \ 1 \dots 0]$ y $b_{eq}=[1]$.

“ V_{LB} y V_{UB} ” son los márgenes superior e inferior de las variables. De acuerdo con el método FPP y FANP, todos los pesos locales tienen un margen inferior igual a cero, y el margen inferior del índice de consistencia es $-\infty$. Dado que todos los márgenes superiores están sujetos a restricciones, pueden ser reemplazados por vectores vacíos.

“**nonlcon**” son las restricciones no lineales, incluyendo la restricción c de la desigualdad no lineal y la restricción ceq de la igualdad no lineal. Como no hay restricciones de la igualdad no lineal en el método FPP, podemos dejar $ceq=[]$.

Para resolver el problema no lineal (1) se ha desarrollado el archivo principal de programa en Matlab denominado “**networkmain.m**”:

```
Aeq=[1 1...1 0];
Beq=[1];
VLB=[0;0;...;0;-inf];
VUB=[ ];
x0=[0.1;0.2;...;1];
OPT=optimset('LargeScale','off');
[x,fval]=fmincon('networkf',x0,[ ],[ ],Aeq,beq,VLB,VUB,'networknonlcon',OPT)
```

En este programa se llama a dos archivos de programa "networkf.m" y "networknonlcon.m". Definen la función objetivo y las restricciones no lineales.

El programa "**networkf.m**" es el siguiente:

```
function f=networkf(x);
```

$f = -x(n+1)$; donde el valor de la función f depende de n . Por ejemplo, para una matriz de orden 3, $n=3$, $f = -x(4)$;

De acuerdo con el método FPP, cada número triangular (l_{ij}, m_{ij}, u_{ij}) debe transformarse en las siguientes restricciones (desigualdades).

$$(m_{ij}-l_{ij}) * x(n+1) * x(j) - x(i) + (l_{ij}) * x(j) \leq 0,$$

$$(u_{ij}-m_{ij}) * x(n+1) * x(j) + x(i) - (u_{ij}) * x(j) \leq 0,$$

Como la matriz de comparación fuzzy triangular es simétrica, únicamente se necesitan las restricciones sobre la diagonal.

$$\begin{bmatrix} (l_{11}, m_{11}, u_{11}) & (l_{12}, m_{12}, u_{12}) & \dots (l_{1n}, m_{1n}, u_{1n}) \\ (l_{21}, m_{21}, u_{21}) & (l_{22}, m_{22}, u_{22}) & \dots (l_{2n}, m_{2n}, u_{2n}) \\ \dots & \dots & \dots \\ (l_{n1}, m_{n1}, u_{n1}) & (l_{n2}, m_{n2}, u_{n2}) & \dots (l_{nn}, m_{nn}, u_{nn}) \end{bmatrix}$$

Por ejemplo, para una matriz de comparación de 3×3 , sólo se necesita tener en cuenta tres elementos: (l_{12}, m_{12}, u_{12}) , (l_{13}, m_{13}, u_{13}) , (l_{23}, m_{23}, u_{23}) . El fichero "**networknonlcon.m**" es el siguiente:

```
Function [c,ceq]=networknonlcon3(x);
```

```

c=[
(m12-l12)*x(4)*x(2)-x(1)+l12*x(2);
(u12-m12)*x(4)*x(2)+x(1) -(u12)*x(2);
(m13-l13)*x(4)*x(3)-x(1)+l13*x(3);
(u13-m13)*x(4)*x(3)+x(1) -(u13)*x(3);
(m23-l23)*x(4)*x(3)-x(2)+l23*x(3);
(u23-m23)*x(4)*x(3)+x(2) -(u23)*x(3);
];
ceq=[ ];

```

Los programas para las matrices (4*4), (5*5),..., (n*n) se pueden desarrollar de la misma manera. Se adjuntan a continuación, a modo de ejemplo, los programas utilizados para resolver las matrices de orden 2 y orden 3.

Matrices de orden 2 (ejemplo de influencia sobre MA1 de los factores ambientales)

MA1	MA2	MA3
MA2	1,1,1	1/9,1/7,1/5
MA3	5,7,9	1,1,1

networknonlcon2.m

```

function [c,ceq]=networknonlcon2(x);
M={ [1,1,1] [1/9,1/7,1/5]; [5,7,9],[1,1,1] }
c=[
(M{1,2}(2)-M{1,2}(1))*x(3)*x(2)-x(1)+M{1,2}(1)*x(2);
(M{1,2}(3)-M{1,2}(2))*x(3)*x(2)+x(1)-M{1,2}(3)*x(2);
];
ceq=[ ];

```

networkmain2.m

```

Aeq=[1 1 0];
beq=[1];
VLB=[0;0;-inf];
VUB=[];
x0=[0.5;0.5;1];
OPT=optimset('LargeScale','off');
[x,fval]=fmincon('networkf2',x0,[],[],Aeq,beq,VLB,VUB,'networknoncon2',OPT)

```

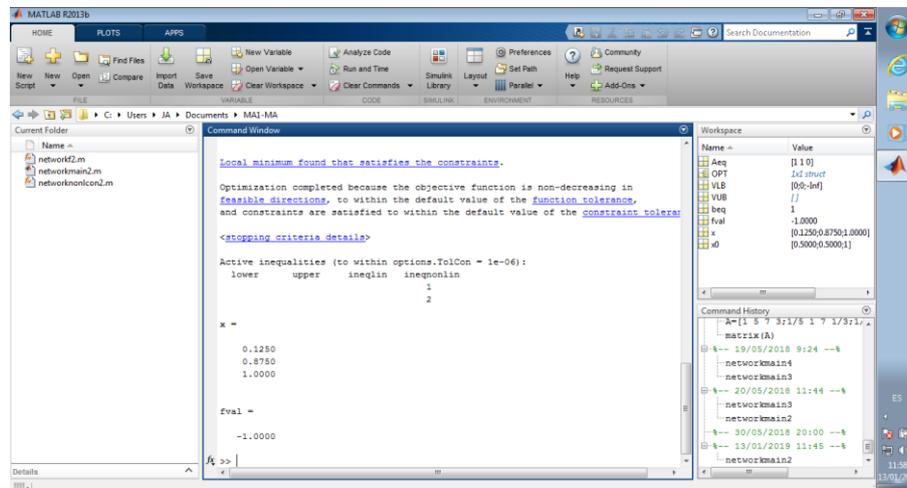
networkf2.m

```

function f=networkf2(x);
f=-x(3);

```

Se muestra a continuación el pantallazo de la ejecución del programa Matlab para este caso.



Matrices de orden 3 (ejemplo de influencia sobre SP3 de los criterios medio ambientales)

SP3	MA1	MA2	MA3
MA1	1,1,1	5,7,9	1,3,5
MA2	1/9,1/7,1/5	1,1,1	1/7,1/5,1/3
MA3	1/5,1/3,1	3,5,7	1,1,1

networknonlcon3.m

```
function [c,ceq]=networknonlcon3(x);
M={ [1,1,1] [5,7,9] [1 3 5]; [1/9,1/7,1/5] [1,1,1] [1/7 1/5 1/3]; [1/5 1/3 1] [3,5,7] [1 1 1] }
c=[
    (M{1,2}(2)-M{1,2}(1))*x(4)*x(2)-x(1)+M{1,2}(1)*x(2);
    (M{1,2}(3)-M{1,2}(2))*x(4)*x(2)+x(1)-M{1,2}(3)*x(2);
    (M{1,3}(2)-M{1,3}(1))*x(4)*x(3)-x(1)+M{1,3}(1)*x(3);
    (M{1,3}(3)-M{1,3}(2))*x(4)*x(3)+x(1)-M{1,3}(3)*x(3);
    (M{2,3}(2)-M{2,3}(1))*x(4)*x(3)-x(2)+M{2,3}(1)*x(3);
    (M{2,3}(3)-M{2,3}(2))*x(4)*x(3)+x(2)-M{2,3}(3)*x(3);
];
ceq=[];
```

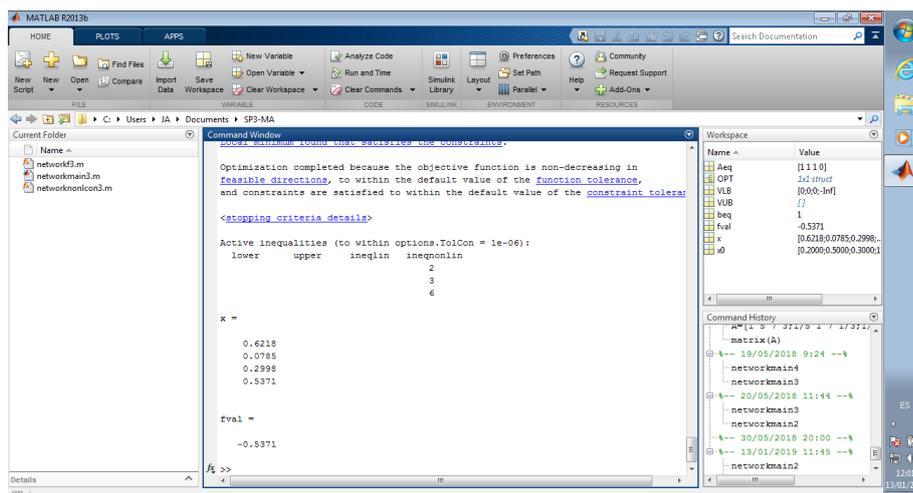
networkmain3.m

```
Aeq=[1 1 1 0];
beq=[1];
VLB=[0;0;0;-inf];
VUB=[];
x0=[0.2;0.5;0.3;1];
OPT=optimset('LargeScale','off');
[x,fval]=fmincon('networkf3',x0,[],[],Aeq,beq,VLB,VUB,'networknonlcon3',OPT)
```

networkf3.m

```
function f=networkf(x);
f=-x(4);
```

Se muestra a continuación el pantallazo de la ejecución del programa Matlab para este caso.



Matrices de comparación por pares. Cálculo de las prioridades basado en el criterio de un técnico.

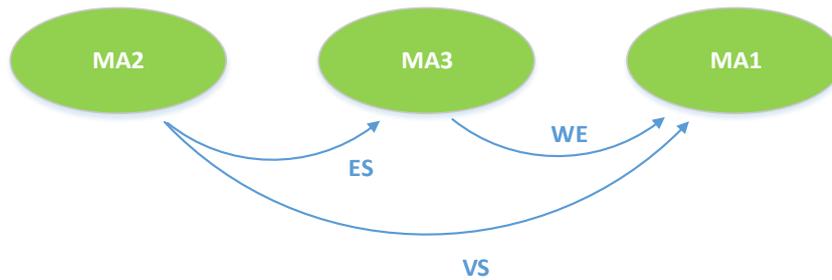
En el apartado 2.4.2 se han desarrollado parte de las matrices de comparación por pares con el objeto de explicar la metodología FANP aplicada. En este apartado del Anexo se completan el resto de matrices de comparación por pares (y los juicios previos necesarios) requeridas por la metodología para resolver el problema de prioridad de factores de la sostenibilidad.

INFLUENCIAS SOBRE LOS FACTORES ECONÓMICOS

El uso de recursos (MA2) es fuertemente importante respecto a las cargas ambientales (MA1) en relación con la influencia sobre la rentabilidad (EC1). Hay que tener en cuenta que si bien es cierto que la prevención de la contaminación supone unos costes asociados a sistemas de depuración y buenas prácticas, en la fracturación hidráulica el uso de recursos es muy importante, pudiendo mencionar además de los materiales requeridos (tuberías, aditivos etc.), el uso de agua y uso de energía en los equipos de perforación, fracturación, tratamiento de aguas, transmisión del gas y procesado.

Otros impactos sobre el ambiente (MA3) se ha considerado débilmente importante respecto a las cargas ambientales (MA1), debido a los elevados costes que se derivan de los accidentes en el sector tales como contaminación de pozos de abastecimiento con metano, fugas incontroladas y explosiones en pozos, contaminación de suelos y acuíferos etc. Estos costes no están contemplados inicialmente en el proyecto por lo que pueden hacer que un pozo deje de ser rentable si suceden estos eventos.

EC1	MA1	MA2	MA3
MA1	EQ	RVS	RWE
MA2	VS	EQ	ES
MA3	WE	RES	EQ



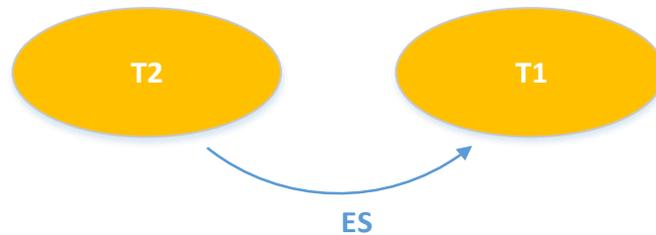
EC1	MA1	MA2	MA3
MA1	1,1,1	1/9,1/7,1/5	1/5,1/3,1
MA2	5,7,9	1,1,1	3,5,7
MA3	1,3,5	1/7,1/5,1/3	1,1,1

$$X=(0.0966,0.7330,0.1704,0.6501)$$

EC1	SP5
SP5	EQ

La dependencia tecnológica es un factor determinante de la rentabilidad de un pozo ya que como se ha mencionado en el capítulo 2 el elevado coste de inversión necesario para el desarrollo de un pozo (por requerirse la importación de materiales y expertos de EE.UU.) hace que esta actividad no sea rentable en España ni en el resto de la Unión Europea, en la actualidad. No obstante lo anterior, la primera premisa para que sea rentable la extracción de gas de pizarra es la existencia de reservas suficientes, de forma que los ingresos obtenidos por la venta del gas producido compensen los costes de instalación del pozo. Por ello, se considera que en la influencia sobre la rentabilidad (EC1), las condiciones geológicas-reservas (T2) son esencialmente importantes respecto a la experiencia-dependencia tecnológica (T1).

EC1	T1	T2
T1	EQ	RES
T2	ES	EQ

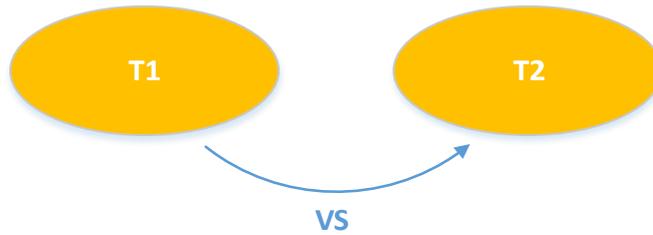


EC1	T1	T2
T1	1,1,1	1/7,1/5,1/3
T2	3,5,7	1,1,1

$$\mathbf{X}=(0.1667,0.8333,1.0000)$$

El precio del gas (EC2) está condicionado por la oferta y la demanda. La demanda de gas natural depende de la existencia de infraestructuras para su transporte y la utilización de este factor energético en la generación de electricidad y la industria. La oferta viene condicionada por la producción de los yacimientos convencionales (grandes países productores) y los niveles de producción de los yacimientos de gas de pizarra. De poco sirve la existencia de grandes reservas si no se pueden explotar de manera rentable, por lo que no aumentarán la oferta de gas disponible, y por ende no condicionarán una bajada de precios. Por ello, se considera que la experiencia, dependencia tecnológica e infraestructuras (T1) tiene una importancia muy fuerte respecto a las condiciones geológicas-reservas (T2) en relación con la influencia sobre el precio del gas (EC2).

EC2	T1	T2
T1	EQ	VS
T2	RVS	EQ

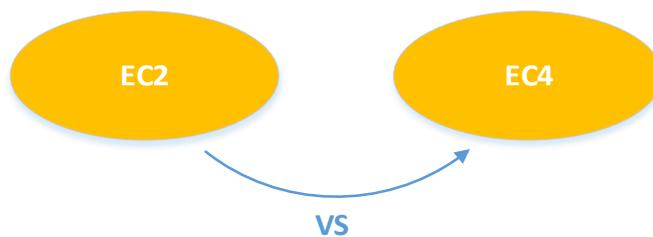


EC2	T1	T2
T1	1,1,1	5,7,9
T2	1/9,1/7,1/5	1,1,1

X=(0.8750,0.1250,1.0000)

Como se ha visto en el apartado 2.3.2.2 (ver tabla 2.17), el peso en el PIB (EC3) derivado de la actividad directa de la fracturación hidráulica puede ser similar en el año 2030 al impacto indirecto derivado de la actividad de los proveedores y del consumo generado por el aumento de ingresos derivados de la actividad de gas de pizarra y proveedores de suministro a la misma. No obstante, aunque los valores puede llegar a igualarse, es evidente que el condicionante principal para que se materialice este impacto indirecto es que el precio del gas sea lo suficiente alto para que el gas de pizarra sea rentable, y los impactos directos e indirectos sobre el PIB serán mayores cuanto mayor sea el precio del gas y por ende la rentabilidad de los pozos sea mayor. Por tanto, se considera que el precio del gas (EC2) tiene una importancia muy fuerte (EC4) respecto a la afección a otros sectores en su impacto en el PIB (EC3).

EC3	EC2	EC4
EC2	EQ	VS
EC4	RV	EQ



EC3	EC2	EC4
EC2	1,1,1	5,7,9
EC4	1/9,1/7,1/5	1,1,1

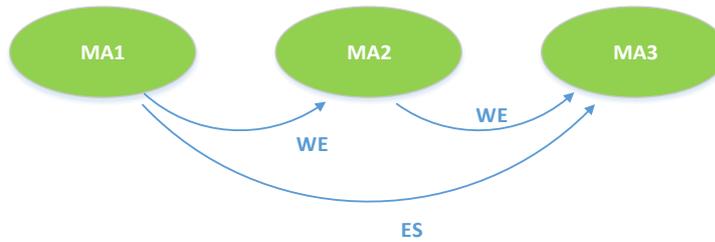
X=(0.8750,0.1250,1.0000)

Las cargas ambientales (MA1) tienen un impacto esencialmente importante respecto a otros impactos sobre el ambiente (MA3), en relación con la afección a otros sectores (EC4), debido a que se considera que los primeros se producirán con mayor frecuencia que otros impactos importantes como son los accidentes. En este sentido, las emisiones a la atmósfera derivadas de fugas y procesos de flow back pueden impactar negativamente en el sector de la agricultura/ganadería (afección que no está bien estudiada). Dichas emisiones a la atmósfera y los vertidos pueden afectar así mismo a sectores como el turismo en sentido negativo. Sin embargo, la aplicación de técnicas de depuración influirán positivamente en el sector de protección del medio ambiente.

Las cargas ambientales (MA1) son débilmente importantes respecto al uso de recursos (MA2), resaltando de esta forma la importancia que tiene el uso del recurso agua en el desarrollo de la fracturación hidráulica, lo que puede afectar a los ecosistemas por reducción de caudales y agotamiento de acuíferos, incluso al abastecimiento humano y consecuentemente al turismo derivado.

Por último, se ha considerado que la distancia en términos de importancia en la influencia entre MA2 y MA3 se puede calificar en el sentido de débil, ya que los accidentes (MA3) pueden ocurrir de manera puntual, por lo que es ligeramente más importante la influencia del uso de recursos.

EC4	MA1	MA2	MA3
MA1	EQ	WE	ES
MA2	RWE	EQ	WE
MA3	RES	RWE	EQ



EC4	MA1	MA2	MA3
MA1	1,1,1	1,3,5	3,5,7
MA2	1/5,1/3,1	1,1,1	1,3,5
MA3	1/7,1/5,1/3	1/5,1/3,1	1,1,1

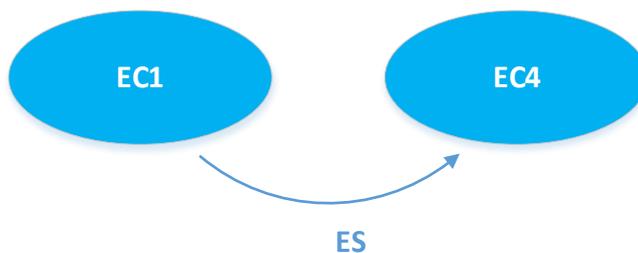
$$X=(0.6253,0.2636,0.1111,0.6861)$$

EC4	T1
T1	EQ

INFLUENCIAS SOBRE LOS FACTORES SOCIO-POLÍTICOS

La rentabilidad (EC1) es esencialmente importante respecto a la afección a otros sectores (EC4) en relación con la creación de empleo (SP1). El número de puestos de trabajo inducidos en indirectos se estima, como se ha mencionado en el apartado 2.3.3.1, en tres por cada empleo directo en la industria del gas de pizarra. Por tanto, el impacto del gas de pizarra sobre otros sectores en términos de creación de empleo es muy relevante. No obstante la primera premisa es la rentabilidad de la técnica. Cuanto mayor sea la rentabilidad mayor será la afección a otros sectores.

SP1	EC1	EC4
EC1	EQ	ES
EC4	RES	EQ

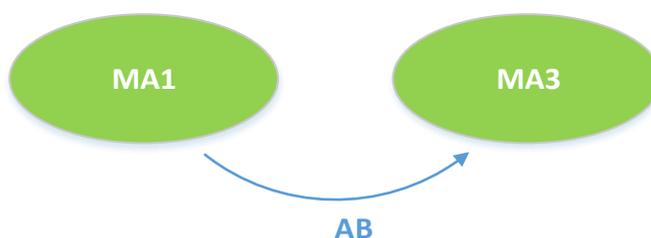


SP1	EC1	EC4
EC1	1,1,1	3,5,7
EC4	1/7,1/5,1/3	1,1,1

X=(0.8333,0.1667,1.0000)

Las cargas ambientales (MA1) tienen una importancia absoluta respecto a otros impactos sobre el ambiente (MA3) en su afección a la salud (SP2). Esta valoración parte de la consideración de que las afecciones crónicas derivadas de una exposición prolongada durante años a los agentes contaminantes (impactos derivados de emisiones a la atmósfera de compuestos orgánicos volátiles, principalmente) provocan daños en la salud más importantes que las exposiciones puntuales derivadas de accidentes, de carácter muy limitado en su extensión y frecuencia de ocurrencia.

SP2	MA1	MA3
MA1	EQ	AB
MA3	RAB	EQ



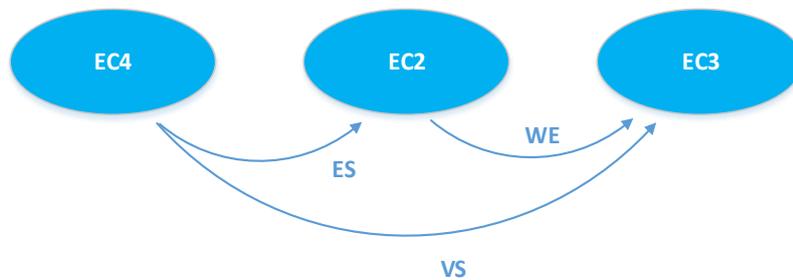
SP2	MA1	MA3
MA1	1,1,1	7,9,11
MA3	1/11,1/9,1/7	1,1,1

X=(0.9000,0.1000,1.0000)

En la percepción social de la ciudadanía (SP3) el factor económico que más condiciona la aceptación (o el rechazo) es la afección a otros sectores. Existen dos vertientes: una aceptación positiva si el desarrollo de la fracturación hidráulica supone la potenciación de otros sectores asociados como puede ser el suministro de bienes, o el sector de la hostelería/restauración, y una percepción negativa derivada de la afección negativa a sectores como la agricultura/ ganadería y sobre todo el turismo. Esta influencia de afección a otros sectores (EC4) es de importancia muy fuerte respecto al impacto en el PIB (EC3), que es un indicador económico no fácilmente comprendido por el público general, y esencialmente importante respecto al precio del gas (EC2), ya que una bajada de los precios de gas como consecuencia del desarrollo masivo de la fracturación hidráulica ejerce un efecto positivo y constatable por la población en general.

El precio del gas (EC2) tiene una importancia leve respecto a el impacto del PIB (EC3) y la afección a otros sectores (EC4) es esencialmente importante respecto al precio del gas (EC2).

SP3	EC2	EC3	EC4
EC2	EQ	WE	RES
EC3	RWE	EQ	RVS
EC4	ES	VS	EQ



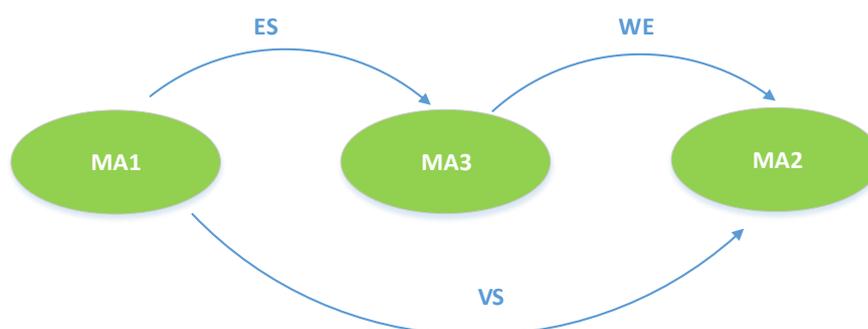
SP3	EC2	EC3	EC4
EC2	1,1,1	1,3,5	1/7,1/5,1/3
EC3	1/5,1/3,1	1,1,1	1/9,1/7,1/5
EC4	3,5,7	5,7,9	1,1,1

$$X=(0.1890,0.0919,0.7190,0.5281)$$

En la influencia sobre SP5 (pérdida o ganancia patrimonial) de los factores ambientales (MA1, MA2, MA3), el razonamiento es similar al realizado respecto a la afección a la percepción social (SP3). El factor más influyente es MA1 (cargas ambientales), seguido de MA3 (otros impactos sobre el ambiente) y por último MA2 (uso de recursos). En este caso se considera que los impactos ambientales son esencialmente importantes respecto otros impactos sobre el ambiente (MA3), debido a que los accidentes pueden ser puntuales, mientras que los impactos ambientales tienen un carácter intrínseco a la actividad y prolongados en el tiempo por lo que como se ha explicado en el apartado 2.3.3.2 pueden provocar una pérdida en el valor de las propiedades cercanas al pozo de gas de pizarra.

Considerando los impactos positivos por la compensación al propietario de los terrenos, o por la elevación del precio de las propiedades como consecuencia de las necesidades de alojamiento de los empleados en la industria del gas de pizarra y asociadas, los impactos ambientales no influyen en este efecto positivo, ya que los empleados en el sector asumen los posibles riesgos derivados, ya que buscan una cercanía al puesto de trabajo.

SP5	MA1	MA2	MA3
MA1	EQ	VS	ES
MA2	RVS	EQ	RWE
MA3	RES	WE	EQ



SP5	MA1	MA2	MA3
MA1	1,1,1	5,7,9	3,5,7
MA2	1/9,1/7,1/5	1,1,1	1/5,1/3,1
MA3	1/7,1/5,1/3	1,3,5	1,1,1

$$X=(0.7343,0.0956,0.1702,0.6577)$$

En relación con la pérdida o ganancia patrimonial (SP5) derivada de los factores económicos, cabe considerar la ganancia patrimonial como consecuencia de la compensación al/los propietarios de los terrenos en función del valor del gas extraído. Es evidente que dichos ingresos en su conjunto dependerán del precio del gas y del número de pozos existentes lo cual dependerá a su vez de la rentabilidad de los mismos. Por tanto se considera que ambos factores tiene la misma importancia en su influencia sobre ganancia patrimonial (SP5). Sobre una posible pérdida patrimonial no ejercen ninguna influencia, ya que ésta se deriva de factores ambientales y socio-políticos.

SP5	EC1	EC2
EC1	EQ	EQ
EC2	EQ	EQ

SP5	EC1	EC2
EC1	1,1,1	1,1,1
EC2	1,1,1	1,1,1

$$X=(0.5000,0.5000,1.0000)$$

Las condiciones geológicas, reservas (T2) afectan a la ganancia o pérdida patrimonial ya que influyen sobre la compensación al propietario por importe del valor del 1% del gas extraído.

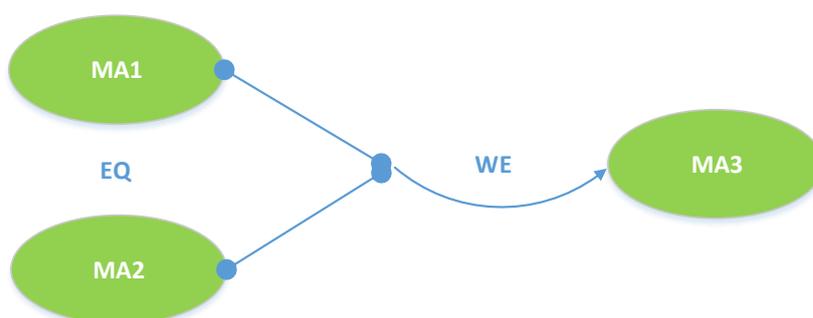
SP5	T2
T2	EQ

INFLUENCIAS SOBRE LOS FACTORES TECNOLÓGICOS

Los factores ambientales (MA1, MA2 y MA3) ejercen una influencia sobre la dependencia tecnológica (T1), ya que motivan el desarrollo de nuevas técnicas para reducir dichos impactos. Así, los impactos sobre el agua y el aire (MA1) implican la innovación y desarrollo de nuevos procesos de depuración de aguas y gases, mientras que las necesidades de recursos como el agua (MA2) fomentan el desarrollo de tecnología de reducción de consumo de este recurso, reutilización para nuevas fracturaciones etc. La influencia de los factores englobados en MA1 y MA2 se considera equivalente. Sin embargo estos dos factores por su carácter intrínseco a la actividad del gas de pizarra tienen una importancia leve sobre el tercer grupo de factores ambientales (MA3), ya que si

bien este último también impulsa la necesidad de tecnología de remediación, su ocurrencia es puntual.

T1	MA1	MA2	MA3
MA1	EQ	EQ	WE
MA2	EQ	EQ	WE
MA3	RWE	RWE	EQ



T1	MA1	MA2	MA3
MA1	1,1,1	1,1,1	1,3,5
MA2	1,1,1	1,1,1	1,3,5
MA3	1/5,1/3,1	1/5,1/3,1	1,1,1

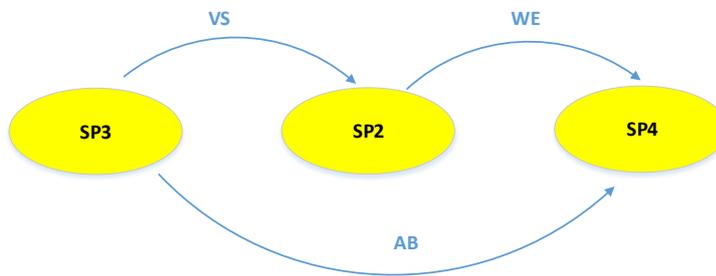
$$X=(0.4286,0.4286,0.1429,1.0000)$$

La percepción social (SP3) tiene una importancia absoluta sobre la falta de regulación (SP4) en relación con la influencia sobre el factor T1 (experiencia, dependencia tecnológica, infraestructuras). Esto se debe a que la percepción sobre los impactos negativos de la fracturación hidráulica es el principal motor en la implantación de nuevas tecnologías y aplicación de mejores prácticas para reducir los impactos sobre el medio ambiente y la salud, e indirectamente mejorar la percepción social de la técnica. SP3 tiene una importancia muy fuerte respecto a SP2, debido a que los efectos sobre la salud no son tan evidentes como la percepción social de dichos efectos, ya que el número de estudios de salud es aún muy limitado, por lo que el principal motivo de implantación de tecnología es la mejora de la percepción social más que remediar un impacto constatado sobre la salud.

Los efectos sobre la salud (SP2) se considera que tienen una importancia leve respecto a la falta de regulación (SP4), si bien la falta de regulación influirá en la menor aplicación de

tecnologías de depuración, mientras que una estricta regulación ambiental motivará la investigación y desarrollo de tecnologías innovadoras en el gas de pizarra.

T1	SP2	SP3	SP4
SP2	EQ	RVS	WE
SP3	VS	EQ	AB
SP4	RWE	RAB	EQ



T1	SP2	SP3	SP4
SP2	1,1,1	1/9,1/7,1/5	1,3,5
SP3	5,7,9	1,1,1	7,9,11
SP4	1/5,1/3,1	1/11,1/9,1/7	1,1,1

$$X=(0.1388,0.7843,0.0769,0.4023)$$

T2	EC1
EC1	EQ

Determinación de la prioridad de criterios (inter-clúster)

MATRIZ ORIGINAL NO PONDERADA

	MEDIO AMBIENTALES			ECONÓMICOS				SOCIO-POLÍTICOS					TECNOLÓG.	
	MA1	MA2	MA3	EC1	EC2	EC3	EC4	SP1	SP2	SP3	SP4	SP5	T1	T2
MA1				0,0966			0,6253		0,9000	0,6218		0,7343	0,4286	
MA2	0,1250		1,0000	0,7330			0,2636			0,0785		0,0956	0,4286	
MA3	0,8750			0,1704			0,1111		0,1000	0,2998		0,1702	0,1429	
EC1								0,8333				0,5000		1,0000
EC2				1,0000		0,8750	1,0000			0,1890		0,5000		
EC3										0,0919				
EC4	1,0000					0,1250		0,1667		0,7190				
SP1										0,3609				
SP2										0,5803		0,1000	0,1388	
SP3											1,0000	0,9000	0,7843	
SP4	1,0000	1,0000	1,0000										0,0769	
SP5				1,0000						0,0588				
T-1	0,8750	0,8333	1,0000	0,1667	0,8750		1,0000							
T-2	0,1250	0,1667		0,8333	0,1250							1,0000		

MATRIZ DE COMPARACIÓN DE CLÚSTERES

	MA	EC	SP	T
MA	0,4516	0,0393	0,4174	0,4737
EC	0,0447	0,4174	0,0393	0,0526
SP	0,2519	0,1258	0,4174	0,4737
T	0,2519	0,4174	0,1258	0

Se multiplica la matriz original por la matriz de comparación de clúteres.

	MEDIO AMBIENTALES			ECONÓMICOS				SOCIO-POLÍTICOS					TECNOLÓG.	
	MA1	MA2	MA3	EC1	EC2	EC3	EC4	SP1	SP2	SP3	SP4	SP5	T1	T2
MA1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0038	0,0000	0,0000	0,0246	0,0000	0,3757	0,2595	0,0000	0,3065	0,2030	0,0000
MA2	0,0565	0,0000	0,4516	0,0288	0,0000	0,0000	0,0104	0,0000	0,0000	0,0328	0,0000	0,0399	0,2030	0,0000
MA3	0,3952	0,0000	0,0000	0,0067	0,0000	0,0000	0,0044	0,0000	0,0417	0,1251	0,0000	0,0710	0,0677	0,0000
EC1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0327	0,0000	0,0000	0,0000	0,0197	0,0000	0,0526
EC2	0,0000	0,0000	0,0000	0,4174	0,0000	0,3652	0,4174	0,0000	0,0000	0,0074	0,0000	0,0197	0,0000	0,0000
EC3	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0036	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
EC4	0,0447	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0522	0,0000	0,0066	0,0000	0,0283	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
SP1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,1506	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
SP2	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,2422	0,0000	0,0417	0,0657	0,0000
SP3	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,4174	0,3757	0,3715	0,0000
SP4	0,2519	0,2519	0,2519	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0364	0,0000
SP5	0,0000	0,0000	0,0000	0,1258	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0245	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
T-1	0,2204	0,2099	0,2519	0,0696	0,3652	0,0000	0,4174	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
T-2	0,0315	0,0420	0,0000	0,3478	0,0522	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,1258	0,0000	0,0000
Σ	1,0001	0,5038	0,9554	0,9999	0,4174	0,4174	0,8741	0,0393	0,4174	0,8741	0,4174	0,9999	0,9474	0,0526

Aquellas columnas que no suma 1.00 se multiplican por una constante, obteniendo la matriz ponderada normalizada.

MATRIZ PONDERADA NORMALIZADA

	MEDIO AMBIENTALES			ECONÓMICOS				SOCIO-POLÍTICOS					TECNOLÓG.	
	MA1	MA2	MA3	EC1	EC2	EC3	EC4	SP1	SP2	SP3	SP4	SP5	T1	T2
MA1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0038	0,0000	0,0000	0,0281	0,0000	0,9000	0,2969	0,0000	0,3065	0,2143	0,0000
MA2	0,0564	0,0000	0,4727	0,0288	0,0000	0,0000	0,0119	0,0000	0,0000	0,0375	0,0000	0,0399	0,2143	0,0000
MA3	0,3951	0,0000	0,0000	0,0067	0,0000	0,0000	0,0050	0,0000	0,1000	0,1432	0,0000	0,0710	0,0714	0,0000
EC1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,8333	0,0000	0,0000	0,0000	0,0197	0,0000	1,0000
EC2	0,0000	0,0000	0,0000	0,4174	0,0000	0,8750	0,4775	0,0000	0,0000	0,0085	0,0000	0,0197	0,0000	0,0000
EC3	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0041	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
EC4	0,0447	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,1250	0,0000	0,1667	0,0000	0,0323	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
SP1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,1723	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
SP2	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,2771	0,0000	0,0417	0,0694	0,0000
SP3	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	1,0000	0,3757	0,3921	0,0000
SP4	0,2519	0,5000	0,2637	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0384	0,0000
SP5	0,0000	0,0000	0,0000	0,1258	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0281	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
T-1	0,2204	0,4167	0,2637	0,0696	0,8750	0,0000	0,4775	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
T-2	0,0315	0,0834	0,0000	0,3479	0,1250	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,1258	0,0000	0,0000
Σ	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000

Se eleva n veces hasta que todas las columnas sean iguales, obteniendo la SUPERMATRIZ LÍMITE.

SUPERMATRIZ LÍMITE

(Potencia 32)

	MA1	MA2	MA3	EC1	EC2	EC3	EC4	SP1	SP2	SP3	SP4	SP5	T1	T2
MA1	0,1359	0,1359	0,1359	0,1359	0,1359	0,1359	0,1359	0,1359	0,1359	0,1359	0,1359	0,1359	0,1359	0,1359
MA2	0,0911	0,0911	0,0911	0,0911	0,0911	0,0911	0,0911	0,0911	0,0911	0,0911	0,0911	0,0911	0,0911	0,0911
MA3	0,0949	0,0949	0,0949	0,0949	0,0949	0,0949	0,0949	0,0949	0,0949	0,0949	0,0949	0,0949	0,0949	0,0949
EC1	0,0656	0,0656	0,0656	0,0656	0,0656	0,0656	0,0656	0,0656	0,0656	0,0656	0,0656	0,0656	0,0656	0,0656
EC2	0,0375	0,0375	0,0375	0,0375	0,0375	0,0375	0,0375	0,0375	0,0375	0,0375	0,0375	0,0375	0,0375	0,0375
EC3	0,0007	0,0007	0,0007	0,0007	0,0007	0,0007	0,0007	0,0007	0,0007	0,0007	0,0007	0,0007	0,0007	0,0007
EC4	0,0165	0,0165	0,0165	0,0165	0,0165	0,0165	0,0165	0,0165	0,0165	0,0165	0,0165	0,0165	0,0165	0,0165
SP1	0,0292	0,0292	0,0292	0,0292	0,0292	0,0292	0,0292	0,0292	0,0292	0,0292	0,0292	0,0292	0,0292	0,0292
SP2	0,0570	0,0570	0,0570	0,0570	0,0570	0,0570	0,0570	0,0570	0,0570	0,0570	0,0570	0,0570	0,0570	0,0570
SP3	0,1692	0,1692	0,1692	0,1692	0,1692	0,1692	0,1692	0,1692	0,1692	0,1692	0,1692	0,1692	0,1692	0,1692
SP4	0,1101	0,1101	0,1101	0,1101	0,1101	0,1101	0,1101	0,1101	0,1101	0,1101	0,1101	0,1101	0,1101	0,1101
SP5	0,0130	0,0130	0,0130	0,0130	0,0130	0,0130	0,0130	0,0130	0,0130	0,0130	0,0130	0,0130	0,0130	0,0130
T-1	0,1382	0,1382	0,1382	0,1382	0,1382	0,1382	0,1382	0,1382	0,1382	0,1382	0,1382	0,1382	0,1382	0,1382
T-2	0,0410	0,0410	0,0410	0,0410	0,0410	0,0410	0,0410	0,0410	0,0410	0,0410	0,0410	0,0410	0,0410	0,0410

Evaluación eliminando los factores socio-políticos.

MATRICES DE COMPARACIÓN DE CLUSTERS

EC	EC	EN	T
EC	EQ	AB	EQ
EN	RAB	EQ	RAB
T	EQ	AB	EQ

EC	EC	EN	T
EC	1,1,1	1/9,1/7,1/5	1/7,1/5,1/3
EN	5,7,9	1,1,1	1,3,5
T	3,5,7	1/5,1/3,1	1,1,1

$$X=(0.4737,0.0526,0.4737,1.0000)$$

EN	EC	EN	T
EC	EQ	RAB	RVS
EN	AB	EQ	WE
T	VS	RWE	EQ

EN	EC	EN	T
EC	1,1,1	1/11,1/9,1/7	1/9,1/7,1/5
EN	7,9,11	1,1,1	1,3,5
T	5,7,9	1/5,1/3,1	1,1,1

$$X=(0.0597,0.6036,0.3367,0.3964)$$

T	EC	EN
EC	EQ	RAB
EN	AB	EQ

T	EC	EN
EC	1,1,1	1/11,1/9,1/7
EN	7,9,11	1,1,1

$$X=(0.1000,0.9000,1.0000)$$

MATRIZ ORIGINAL NO PONDERADA

	MEDIO AMBIENTALES			ECONÓMICOS				TECNOLÓG.	
	MA1	MA2	MA3	EC1	EC2	EC3	EC4	T1	T2
MA1				0,0966			0,6253	0,4286	
MA2	0,1250		1,0000	0,7330			0,2636	0,4286	
MA3	0,8750			0,1704			0,1111	0,1429	
EC1									1,0000
EC2				1,0000		0,8750	1,0000		
EC3									
EC4	1,0000					0,1250			
T-1	0,8750	0,8333	1,0000	0,1667	0,8750		1,0000		
T-2	0,1250	0,1667		0,8333	0,1250				

MATRIZ DE COMPARACIÓN DE CLUSTERS

	MA	EC	T
MA	0,6036	0,0526	0,9000
EC	0,0597	0,4737	0,1000
T	0,3367	0,4737	0,0000

Se multiplica la matriz original por la matriz de comparación por clusters, obteniendo la matriz ponderada.

MATRIZ PONDERADA

	MEDIO AMBIENTALES			ECONÓMICOS				TECNOLÓG.	
	MA1	MA2	MA3	EC1	EC2	EC3	EC4	T1	T2
MA1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0051	0,0000	0,0000	0,0329	0,3857	0,0000
MA2	0,0755	0,0000	0,6036	0,0386	0,0000	0,0000	0,0139	0,3857	0,0000
MA3	0,5282	0,0000	0,0000	0,0090	0,0000	0,0000	0,0058	0,1286	0,0000
EC1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,1000
EC2	0,0000	0,0000	0,0000	0,4737	0,0000	0,4145	0,4737	0,0000	0,0000
EC3	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
EC4	0,0597	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0592	0,0000	0,0000	0,0000
T-1	0,2946	0,2806	0,3367	0,0790	0,4145	0,0000	0,4737	0,0000	0,0000
T-2	0,0421	0,0561	0,0000	0,3947	0,0592	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Σ	1,0000	0,3367	0,9403	1,0000	0,4737	0,4737	1,0000	0,9001	0,1000

Aquellas columnas que no suma 1.00 se multiplican por una constante, obteniendo una matriz ponderada normalizada.

MATRIZ PONDERADA NORMALIZADA

	MEDIO AMBIENTALES			ECONÓMICOS				TECNOLÓG.	
	MA1	MA2	MA3	EC1	EC2	EC3	EC4	T1	T2
MA1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0051	0,0000	0,0000	0,0329	0,4286	0,0000
MA2	0,0755	0,0000	0,6419	0,0386	0,0000	0,0000	0,0139	0,4286	0,0000
MA3	0,5282	0,0000	0,0000	0,0090	0,0000	0,0000	0,0058	0,1429	0,0000
EC1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	1,0000
EC2	0,0000	0,0000	0,0000	0,4737	0,0000	0,8750	0,4737	0,0000	0,0000
EC3	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
EC4	0,0597	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,1250	0,0000	0,0000	0,0000
T-1	0,2946	0,8333	0,3581	0,0790	0,8750	0,0000	0,4737	0,0000	0,0000
T-2	0,0421	0,1667	0,0000	0,3947	0,1250	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Σ	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000

Se eleva n veces hasta que todas las columnas son iguales, obteniendo la MATRIZ LÍMITE.

MATRIZ LÍMITE

(Potencia 32)

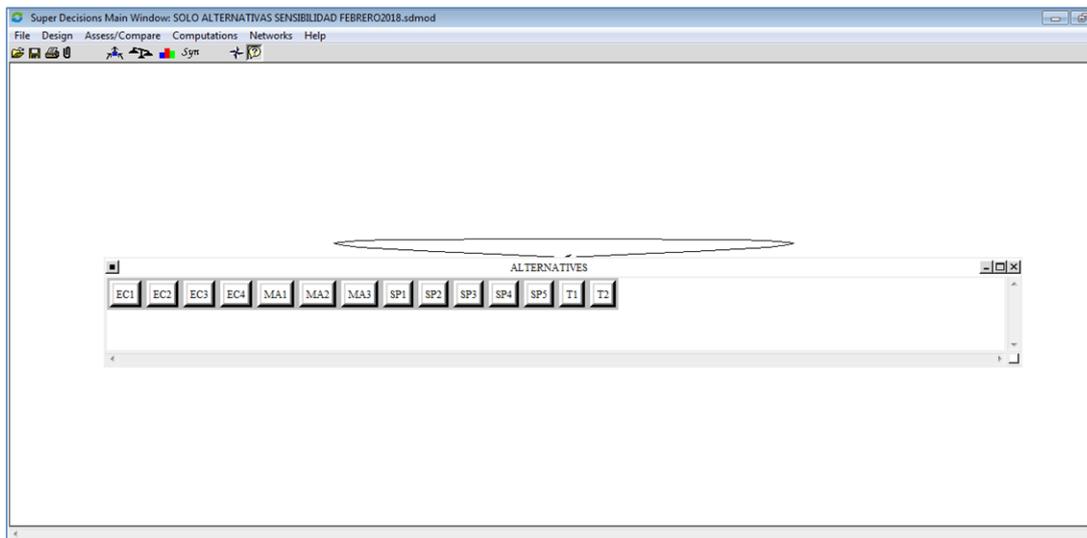
	MEDIO AMBIENTALES			ECONÓMICOS				TECNOLÓG.	
	MA1	MA2	MA3	EC1	EC2	EC3	EC4	T1	T2
MA1	0,1356	0,1356	0,1355	0,1355	0,1356	0,1355	0,1355	0,1355	0,1356
MA2	0,2236	0,2236	0,2236	0,2236	0,2236	0,2236	0,2236	0,2236	0,2236
MA3	0,1173	0,1173	0,1173	0,1173	0,1173	0,1173	0,1173	0,1173	0,1173
EC1	0,0796	0,0796	0,0796	0,0796	0,0796	0,0796	0,0796	0,0796	0,0796
EC2	0,0415	0,0415	0,0415	0,0415	0,0415	0,0415	0,0415	0,0415	0,0415
EC3	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
EC4	0,0081	0,0081	0,0081	0,0081	0,0081	0,0081	0,0081	0,0081	0,0081
T-1	0,3147	0,3147	0,3147	0,3147	0,3147	0,3147	0,3147	0,3147	0,3147
T-2	0,0796	0,0796	0,0796	0,0796	0,0796	0,0796	0,0796	0,0796	0,0796

Análisis de sensibilidad.

Se ha realizado un análisis de sensibilidad aplicando la metodología "ANP Row Sensitivity" mediante el software Super Decisions (ver apartado 2.4.2).

La configuración del programa para la aplicación de este análisis requiere la existencia de un clúster denominado "alternativas" formado por los elementos sobre los que se pretende realizar el análisis de sensibilidad, estudiando las consecuencias de las variaciones en las prioridades de sus nodos. Por esto, ha sido necesario simplificar el modelo original estudiado en el apartado 2.4.2, para dar entrada directamente en el programa a los valores de la supermatriz ponderada que incorpora la ponderación de los diferentes clústeres (tabla 2.28).

De esta forma, se incorporan en un único clúster denominado "alternativas" todos los factores de la sostenibilidad, tal como se muestra en la siguiente figura que representa el modelo simplificado en Super Decisions.

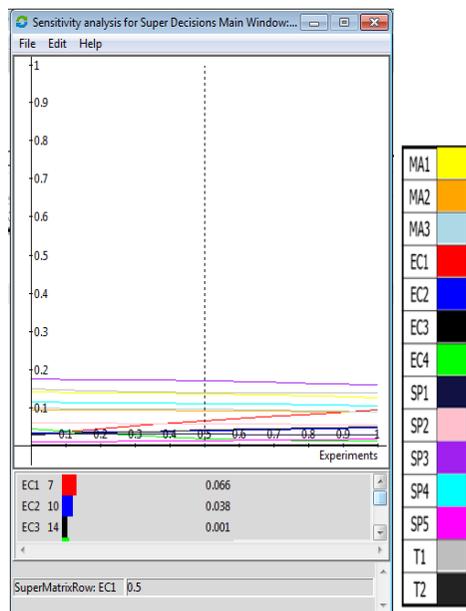


Se selecciona para cada uno de los nodos (criterios de sostenibilidad), la opción : COMPUTATIONS-SENSITIVITY-PARAMETER: SUPERMATRIX ROW y se va variando el peso del nodo hasta que cambia el ranking de prioridades.

Se calcula el tanto por ciento de variación respecto al peso inicial del factor de la sostenibilidad, requerido para provocar la variación en el ranking, obteniendo los valores representados en la tabla 2.30 del apartado 2.4.3.

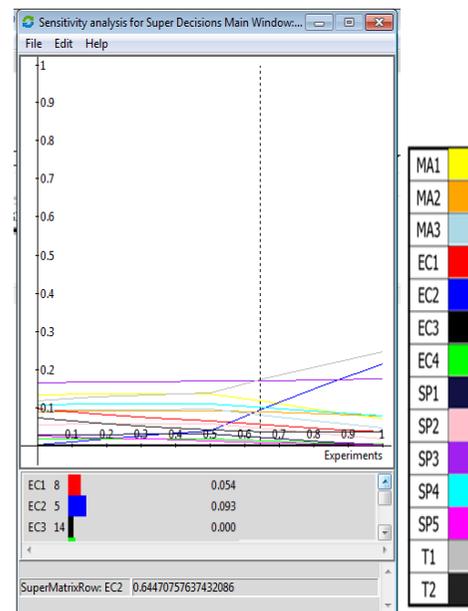
Se representan a continuación los resultados gráficos del programa Super Decisions al aplicar el método Supermatrix Row.

Variaciones de EC1



No existen variaciones en las tres primeras posiciones del ranking ante variaciones de EC1.

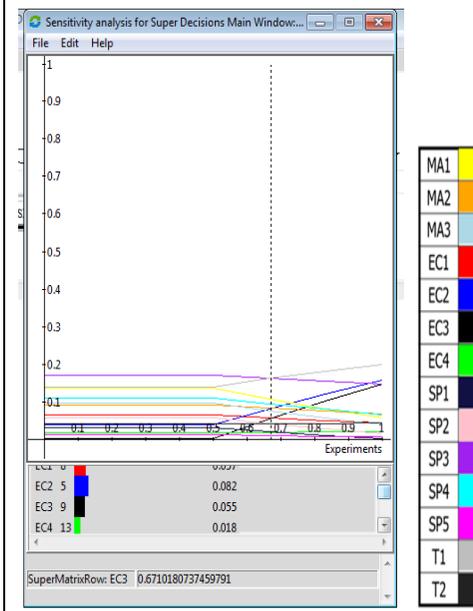
Variaciones de EC2



Cuando EC2 vale 0.093, el ranking es:

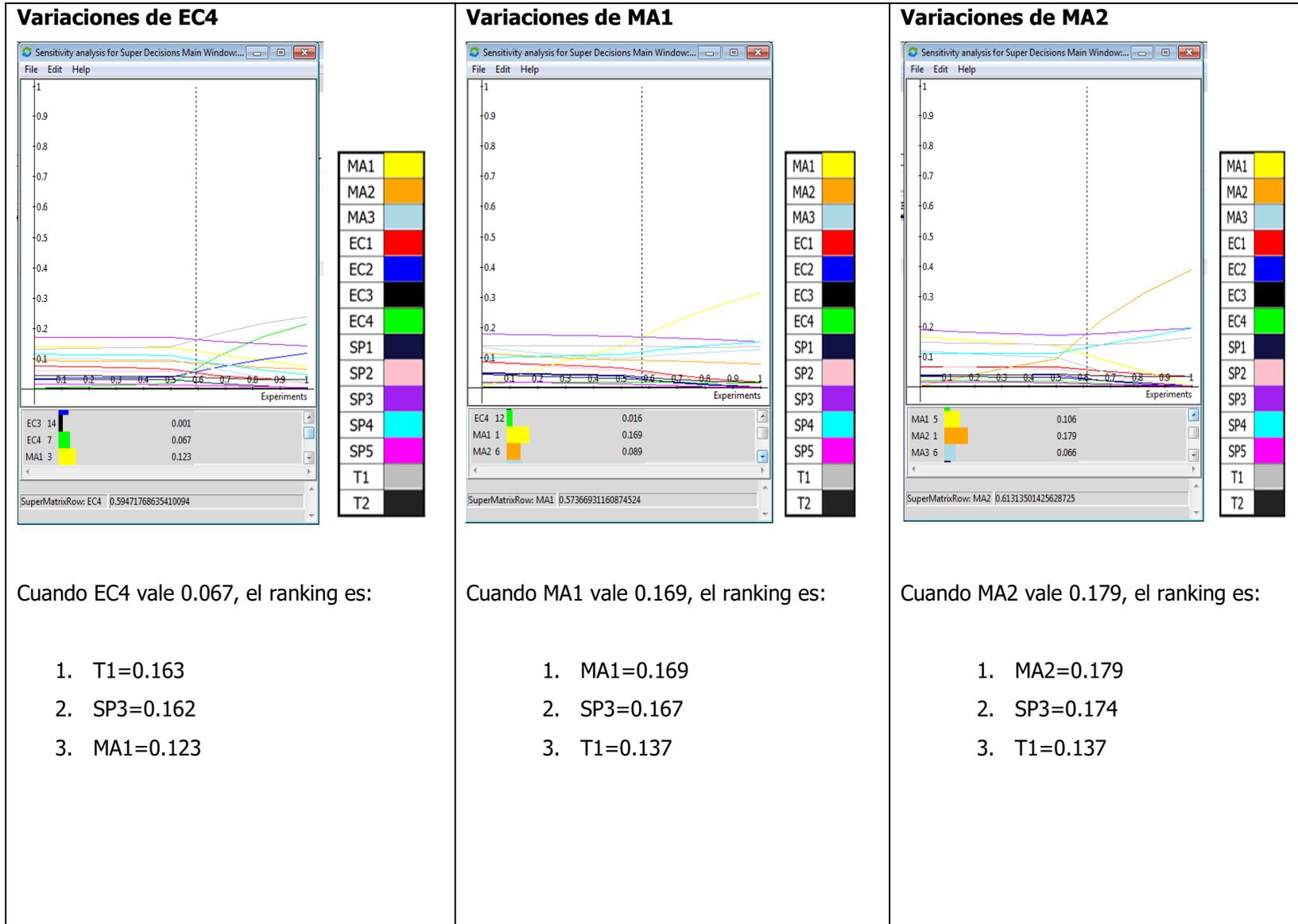
1. T1=0.172
2. SP3=0.171
3. MA1=0.116

Variaciones de EC3

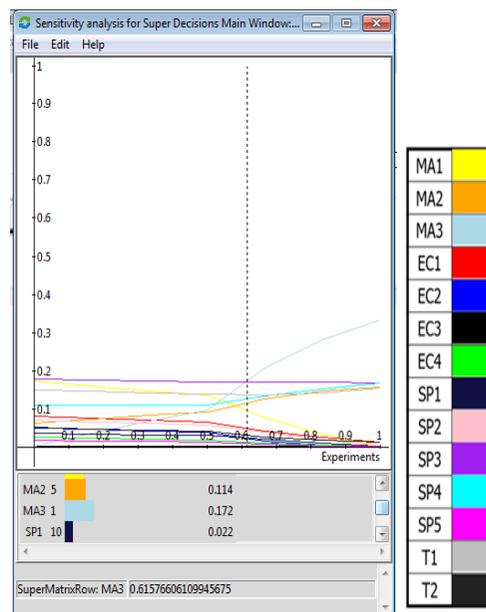


Cuando EC3 vale 0.055, el ranking es:

1. T1=0.161
2. SP3=0.160
3. MA1=0.107



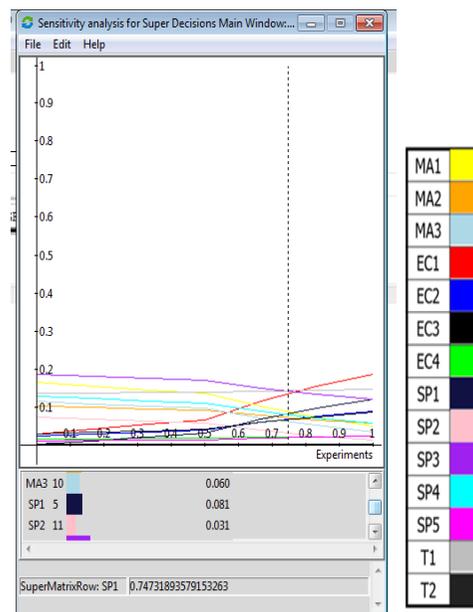
Variaciones de MA3



Cuando MA3 vale 0.172, el ranking es:

1. MA3=0.172
2. SP3=0.170
3. T1=0.137

Variaciones de SP1

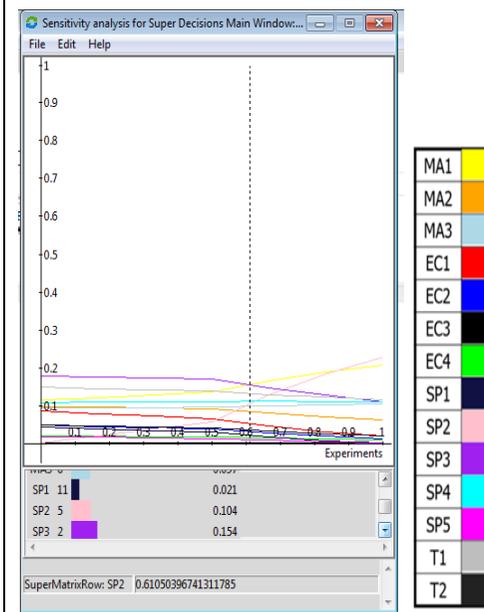


Cuando SP1 vale 0.081, el ranking es:

1. T1=0.142
2. SP3=0.141
3. EC1=0.136

Para SP1=0.087 el ranking es : T1-EC1-SP3

Variaciones de SP2

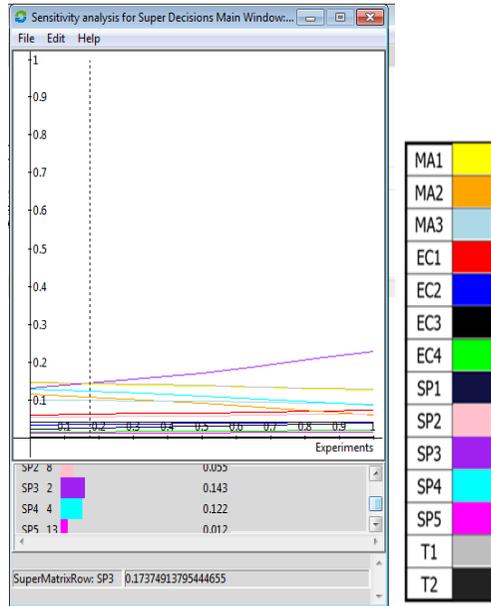


Cuando SP2 vale 0.104, el ranking es:

1. MA1=0.155
2. SP3=0.154
3. T1=0.132

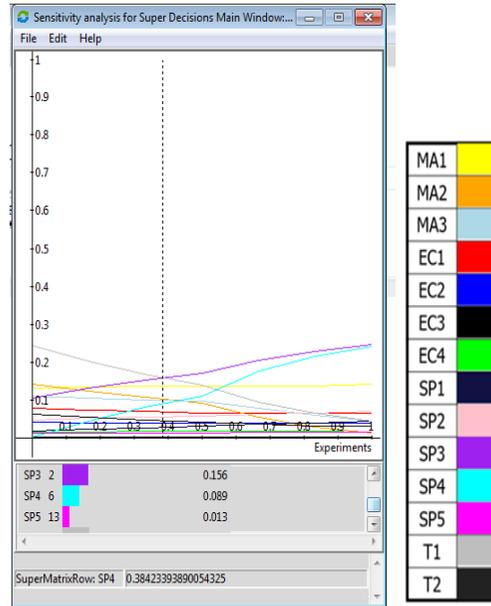
Para SP2=0.146 el orden es MA1,SP2, SP3

Variaciones de SP3



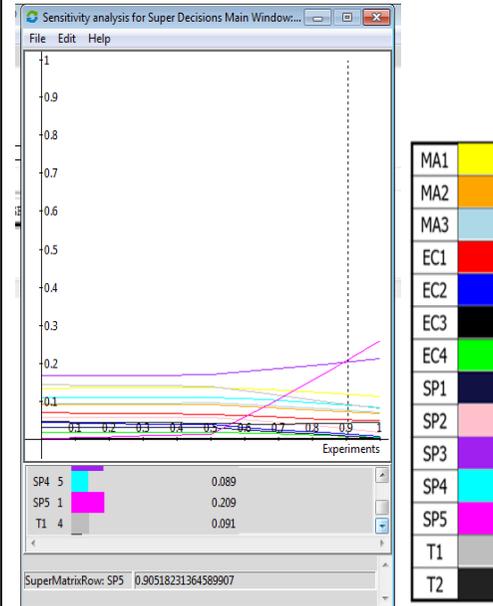
Los aumentos en la importancia de SP3 no hacen variar el ranking de los tres primeros puestos. Si SP3 baja a 0.143, el ranking cambia a T1-SP3-MA1. Si SP3=0.141 el ranking es T1-MA1-SP3.

Variaciones de SP4



Al aumentar SP4 no varía el primer puesto. Cuando aumenta hasta SP4=0.118, el ranking es: SP3-MA1-T1. Cuando se reduce la importancia de SP4, SP4=0.089 el nuevo ranking es: T1-SP3-MA1.

Variaciones de SP5



Cuando SP5 vale 0.209, el ranking es:

1. SP5=0.209
2. SP3=0.203
3. MA1=0.118

ANEXO II. EVALUACIÓN MEDIANTE ENCUESTAS

Encuesta a académicos

Se recoge a continuación la encuesta remitida a los académicos para incorporar su punto de vista a la evaluación de la sostenibilidad.

EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD DEL FRACTURACIÓN HIDRÁULICA – ENCUESTA DE COMPARACIÓN DE CLÚSTERES

Una de las fases del método de decisión multicriterio ANP (Analytic Network Process), es la ponderación de los clústeres (agrupación de criterios). Se trata de realizar comparaciones por pares de clústeres sobre la influencia de cada uno de ellos, con respecto a un criterio de control (que es un tercer clúster).

En el caso de estudio, se han definido tres clústeres que agrupan los factores de sostenibilidad del fracturación hidráulica: ambiental, económico, sociopolítico y tecnológico (MA, EC, SP y T). Los factores de sostenibilidad que los integran se muestran a continuación:

<u>FACTORES AMBIENTALES.</u>	<u>FACTORES ECONÓMICOS.</u>	<u>FACTORES SOCIO-POLÍTICOS.</u>	<u>FACTORES TECNOLÓGICOS.</u>
MA1-IMPACTOS AMBIENTALES <ul style="list-style-type: none"> • Agua. • Aire. • Residuos/suelo degradado. 	EC-1 RENTABILIDAD <ul style="list-style-type: none"> • Costes de inversión. • Costes de operación. • Ingresos. • Impuestos 	SP1- CREACIÓN DE EMPLEO. SP2- AFECCIÓN A LA SALUD. SP3- PERCEPCIÓN SOCIAL. SP4- FALTA DE REGULACIÓN. SP5- PÉRDIDA O GANANCIA PATRIMONIAL..	T-1 EXPERIENCIA, DEPENDENCIA TECNOLÓGICA, INFRAESTRUCTURAS. T2- CONDICIONES GEOLÓGICAS-RESERVAS.
MA2-USO DE RECURSOS <ul style="list-style-type: none"> • Materiales. • Agua. • Energía. 	EC2- PRECIO DEL GAS EC3- IMPACTO EN EL PIB. EC4- AFECCIÓN A OTROS SECTORES		
MA3-OTROS IMPACTOS <ul style="list-style-type: none"> • Riesgos: accidentes y sismicidad. • Impacto visual y ruido. 			

Para la comparación de los clústeres, se tomará la escala de Saaty :

<i>Escala Lingüística</i>	<i>Escala Saaty</i>
<i>Igualmente importante</i>	1
<i>Importancia leve</i>	3
<i>Esencialmente importante</i>	5
<i>Importancia muy fuerte</i>	7
<i>Importancia absoluta</i>	9

Se trata de determinar qué clúster es más importante (comparaciones pareadas), desde el punto de vista de su mayor influencia sobre el criterio de control que será otro clúster.

Ejemplo: Comparación entre el clúster ambiental y el económico, respecto al sociopolítico (clúster de control).

Los factores ambientales influyen sobre los factores sociopolíticos (un ejemplo de ello es que los impactos sobre el agua provocan una percepción social negativa de la fracturación hidráulica).

Los factores económicos también influyen en los factores sociopolíticos (un aumento del PIB favorecerá la creación de empleo).

Tomando como criterio de control el clúster sociopolítico, se trata de determinar si los factores ambientales tienen una mayor influencia (sobre el clúster de control) que los factores económicos, o viceversa, y cuantificar esa mayor influencia en términos de la escala de Saaty, de forma que si uno es levemente más importante que otro se asignará un -3- y si es absolutamente más importante se asignará un -9- (ver escala lingüística de Saaty)

Para la comparación entre clústeres se tendrán en consideración los factores integrantes de cada uno de ellos a la hora de establecer la importancia relativa de los clústeres de forma global.

La encuesta consiste en 20 preguntas que se contestarán siguiendo la metodología expuesta anteriormente, teniendo en cuenta cuál es el criterio de control (clúster sobre el que se evalúa la importancia relativa de los otros dos).

A) EVALUANDO LA INFLUENCIA SOBRE LOS FACTORES AMBIENTALES (CRITERIO DE CONTROL, EL CLÚSTER AMBIENTAL)

1. Evaluando la influencia global sobre los factores ambientales, qué conjunto de factores influyen más: ¿los factores económicos o los propios factores ambientales? (marcar con una cruz EC o MA respectivamente, según se considere, y la magnitud en términos de preponderancia de uno sobre otro, según la escala Saaty).

MA		
EC	MA	Magnitud escala Saaty

2. Evaluando la influencia global sobre los factores ambientales, qué conjunto de factores influyen más: ¿los factores económicos o los factores sociopolíticos? (marcar con una cruz EC o SP respectivamente, según se considere, y la magnitud en términos de preponderancia de uno sobre otro, según la escala Saaty).

MA		
EC	SP	Magnitud escala Saaty

3. Evaluando la influencia global sobre los factores ambientales, qué conjunto de factores influyen más: ¿los factores económicos o los factores tecnológicos? (marcar con una cruz EC o T respectivamente, según se considere, y la magnitud en términos de preponderancia de uno sobre otro, según la escala Saaty).

MA		
EC	T	Magnitud escala Saaty

4. Evaluando la influencia global sobre los factores ambientales, qué conjunto de factores influyen más: ¿los factores ambientales o los factores sociopolíticos? (marcar con una cruz MA o SP respectivamente, según se considere, y la magnitud en términos de preponderancia de uno sobre otro, según la escala Saaty).

MA		
MA	SP	Magnitud escala Saaty

5. Evaluando la influencia global sobre los factores ambientales, qué conjunto de factores influyen más: ¿los factores ambientales o los factores tecnológicos? (marcar con una cruz MA o T respectivamente, según se considere, y la magnitud en términos de preponderancia de uno sobre otro, según la escala Saaty).

MA		
MA	T	Magnitud escala Saaty

6. Evaluando la influencia global sobre los factores ambientales, qué conjunto de factores influyen más: ¿los factores sociopolíticos o los factores tecnológicos? (marcar con una cruz SP o T respectivamente, según se considere, y la magnitud en términos de preponderancia de uno sobre otro, según la escala Saaty).

MA		
SP	T	Magnitud escala Saaty

B) EVALUANDO LA INFLUENCIA SOBRE LOS FACTORES SOCIOPOLÍTICOS (CRITERIO DE CONTROL, EL CÚSTER SOCIOPOLÍTICO)

7. Evaluando la influencia global sobre los factores sociopolíticos, qué conjunto de factores influyen más: ¿los factores económicos o los factores ambientales? (marcar con una cruz EC o MA respectivamente, según se considere, y la magnitud en términos de preponderancia de uno sobre otro, según la escala Saaty).

SP		
EC	MA	Magnitud escala Saaty

8. Evaluando la influencia global sobre los factores sociopolíticos, qué conjunto de factores influyen más: ¿los factores económicos o los factores sociopolíticos? (marcar con una cruz EC o SP

respectivamente, según se considere, y la magnitud en términos de preponderancia de uno sobre otro, según la escala Saaty).

SP		
EC	SP	Magnitud escala Saaty

9. Evaluando la influencia global sobre los factores sociopolíticos, qué conjunto de factores influyen más: ¿los factores económicos o los factores tecnológicos? (marcar con una cruz EC o T respectivamente, según se considere, y la magnitud en términos de preponderancia de uno sobre otro, según la escala Saaty).

SP		
EC	T	Magnitud escala Saaty

10. Evaluando la influencia global sobre los factores sociopolíticos, qué conjunto de factores influyen más: ¿los factores ambientales o los factores sociopolíticos? (marcar con una cruz MA o SP respectivamente, según se considere, y la magnitud en términos de preponderancia de uno sobre otro, según la escala Saaty).

SP		
MA	SP	Magnitud escala Saaty

11. Evaluando la influencia global sobre los factores sociopolíticos, qué conjunto de factores influyen más: ¿los factores ambientales o los factores tecnológicos? (marcar con una cruz MA o T respectivamente, según se considere, y la magnitud en términos de preponderancia de uno sobre otro, según la escala Saaty).

SP		
MA	T	Magnitud escala Saaty

12. Evaluando la influencia global sobre los factores sociopolíticos, qué conjunto de factores influyen más: ¿los factores sociopolíticos o los factores tecnológicos? (marcar con una cruz SP o T respectivamente, según se considere, y la magnitud en términos de preponderancia de uno sobre otro, según la escala Saaty).

SP		
SP	T	Magnitud escala Saaty

C) LA INFLUENCIA SOBRE LOS FACTORES ECONÓMICOS (CRITERIO DE CONTROL, EL CLÚSTER ECONÓMICO)

13. Evaluando la influencia global sobre los factores económicos, qué conjunto de factores influyen más: ¿los propios factores económicos o los factores ambientales? (marcar con una cruz EC o MA respectivamente, según se considere, y la magnitud en términos de preponderancia de uno sobre otro, según la escala Saaty).

EC		
EC	MA	Magnitud escala Saaty

14. Evaluando la influencia global sobre los factores económicos, qué conjunto de factores influyen más: ¿los propios factores económicos o los factores sociopolíticos? (marcar con una cruz EC o SP respectivamente, según se considere, y la magnitud en términos de preponderancia de uno sobre otro, según la escala Saaty).

EC		
EC	SP	Magnitud escala Saaty

15. Evaluando la influencia global sobre los factores económicos, qué conjunto de factores influyen más: ¿los factores económicos o los factores tecnológicos? (marcar con una cruz EC o T respectivamente, según se considere, y la magnitud en términos de preponderancia de uno sobre otro, según la escala Saaty).

EC		
EC	T	Magnitud escala Saaty

16. Evaluando la influencia global sobre los factores económicos, qué conjunto de factores influyen más: ¿los factores ambientales o los factores sociopolíticos? (marcar con una cruz MA o SP respectivamente, según se considere, y la magnitud en términos de preponderancia de uno sobre otro, según la escala Saaty).

EC		
MA	SP	Magnitud escala Saaty

17. Evaluando la influencia global sobre los factores económicos, qué conjunto de factores influyen más: ¿los factores ambientales o los factores tecnológicos? (marcar con una cruz MA o T respectivamente, según se considere, y la magnitud en términos de preponderancia de uno sobre otro, según la escala Saaty).

EC		
MA	T	Magnitud escala Saaty

18. Evaluando la influencia global sobre los factores económicos, qué conjunto de factores influyen más: ¿los factores sociopolíticos o los factores tecnológicos? (marcar con una cruz SP o T respectivamente, según se considere, y la magnitud en términos de preponderancia de uno sobre otro, según la escala Saaty).

EC		
SP	T	Magnitud escala Saaty

D) EVALUANDO LA INFLUENCIA SOBRE LOS FACTORES TECNOLÓGICOS (CRITERIO DE CONTROL)

19. Evaluando la influencia global sobre los factores tecnológicos, qué conjunto de factores influyen más: ¿los factores económicos o los factores ambientales? (marcar con una cruz EC o MA respectivamente, según se considere, y la magnitud en términos de preponderancia de uno sobre otro, según la escala Saaty).

T		
EC	MA	Magnitud escala Saaty

20. Evaluando la influencia global sobre los factores tecnológicos, qué conjunto de factores influyen más: ¿los factores ambientales o los factores sociopolíticos? (marcar con una cruz MA o SP respectivamente, según se considere, y la magnitud en términos de preponderancia de uno sobre otro, según la escala Saaty).

T		
MA	SP	Magnitud escala Saaty

21. Evaluando la influencia global sobre los factores tecnológicos, qué conjunto de factores influyen más: ¿los factores económicos o los factores sociopolíticos? (marcar con una cruz EC o SP respectivamente, según se considere, y la magnitud en términos de preponderancia de uno sobre otro, según la escala Saaty).

T		
EC	SP	Magnitud escala Saaty

Encuestado D

Matrices de Comparación por Pares					A. Análisis de Consistencia									
					1. Suma Ponderada SP*(MC/PA*/VPA*)		2. Suma ponderada (SP/Vector prioridad (VPA*))		3. Landa max. (Promedio SP/VPA*)		4. Índice de Consistencia (IC)		Relación de Consistencia (RC)	
1. BLOQUE Ambientales (EN) (Se evalúa la influencia sobre los aspectos ambientales)					BLOQUE Ambientales (EN)		BLOQUE Ambientales (EN)		BLOQUE Ambientales (EN)		BLOQUE Ambientales (EN)		BLOQUE Ambientales (EN)	
EC	EN	SP	T	EC	EN	EC	EN	EC	EN	EC	EN	EC	EN	
1	1/5	1/3	5	0,9952	4,3937	4,2380	0,0760						0,09	
5	1	1	5	1,2525	4,3996									
3	1	1	5	1,4334	4,2248									
1/3	1/5	1/5	1	0,3373	4,0943									
				4,28										
9,33	2,53	2,53	12,00											
2. BLOQUE Socio-Políticos (SP) (Se evalúa la influencia sobre los aspectos socio-políticos)					BLOQUE Socio-Políticos (SP)		BLOQUE Socio-Políticos (SP)		BLOQUE Socio-Políticos (SP)		BLOQUE Socio-Políticos (SP)		BLOQUE Socio-Políticos (SP)	
EC	EN	SP	T	EC	EN	EC	EN	EC	EN	EC	EN	EC	EN	
1	5	3	3	3,1133	4,2568	4,7960	0,2860						0,30	
1/5	1	5	1	1,9117	5,4594									
1/3	1/5	1	5	0,7603	4,4233									
1/3	1	1/5	1	0,5999	4,5404									
				4,86										
2,00	5,20	9,33	8,00											
3. BLOQUE Económicos (EC) (Se evalúa la influencia sobre los aspectos económicos)					BLOQUE Económicos (EC)		BLOQUE Económicos (EC)		BLOQUE Económicos (EC)		BLOQUE Económicos (EC)		BLOQUE Económicos (EC)	
EC	EN	SP	T	EC	EN	EC	EN	EC	EN	EC	EN	EC	EN	
1	1/3	5	3	1,7299	5,0302	4,9982	0,3327						0,27	
3	1	1	1	1,6915	5,6161									
1/3	1	1	1	0,5799	4,2794									
1/3	1	3	1	1,0228										
				5,02										
4,53	3,33	30,00	5,33											
4. BLOQUE Tecnológicos (T) (Se evalúa la influencia sobre los aspectos tecnológicos)					BLOQUE Tecnológicos (T)		BLOQUE Tecnológicos (T)		BLOQUE Tecnológicos (T)		BLOQUE Tecnológicos (T)		BLOQUE Tecnológicos (T)	
EC	EN	SP	T	EC	EN	EC	EN	EC	EN	EC	EN	EC	EN	
1	5	3	3	1,1122	3,3578	3,3017	0,1509						0,26	
1/5	1	1/3	1	0,3689	3,0850									
3	3	1	1	1,9016	3,4624									
				3,38										
4,20	9,00	1,67												

Encuestado E

Matrices de Comparación por Pares					A. Análisis de Consistencia									
					1. Suma Ponderada SP*(MC/PA*/VPA*)		2. Suma ponderada (SP/Vector prioridad (VPA*))		3. Landa max. (Promedio SP/VPA*)		4. Índice de Consistencia (IC)		Relación de Consistencia (RC)	
1. BLOQUE Ambientales (EN) (Se evalúa la influencia sobre los aspectos ambientales)					BLOQUE Ambientales (EN)		BLOQUE Ambientales (EN)		BLOQUE Ambientales (EN)		BLOQUE Ambientales (EN)		BLOQUE Ambientales (EN)	
EC	EN	SP	T	EC	EN	EC	EN	EC	EN	EC	EN	EC	EN	
1	1/5	1/3	5	0,9952	4,3937	4,2380	0,0760						0,09	
5	1	1	5	1,2525	4,3996									
3	1	1	5	1,4334	4,2248									
1/3	1/5	1/5	1	0,3373	4,0943									
				4,28										
9,33	2,53	2,53	12,00											
2. BLOQUE Socio-Políticos (SP) (Se evalúa la influencia sobre los aspectos socio-políticos)					BLOQUE Socio-Políticos (SP)		BLOQUE Socio-Políticos (SP)		BLOQUE Socio-Políticos (SP)		BLOQUE Socio-Políticos (SP)		BLOQUE Socio-Políticos (SP)	
EC	EN	SP	T	EC	EN	EC	EN	EC	EN	EC	EN	EC	EN	
1	5	3	3	3,1133	4,2568	4,7960	0,2860						0,30	
1/5	1	5	1	1,9117	5,4594									
1/3	1/5	1	5	0,7603	4,4233									
1/3	1	1/5	1	0,5999	4,5404									
				4,86										
2,00	5,20	9,33	8,00											
3. BLOQUE Económicos (EC) (Se evalúa la influencia sobre los aspectos económicos)					BLOQUE Económicos (EC)		BLOQUE Económicos (EC)		BLOQUE Económicos (EC)		BLOQUE Económicos (EC)		BLOQUE Económicos (EC)	
EC	EN	SP	T	EC	EN	EC	EN	EC	EN	EC	EN	EC	EN	
1	1/3	5	3	1,7299	5,0302	4,9982	0,3327						0,27	
3	1	1	1	1,6915	5,6161									
1/3	1	1	1	0,5799	4,2794									
1/3	1	3	1	1,0228										
				5,02										
4,53	3,33	30,00	5,33											
4. BLOQUE Tecnológicos (T) (Se evalúa la influencia sobre los aspectos tecnológicos)					BLOQUE Tecnológicos (T)		BLOQUE Tecnológicos (T)		BLOQUE Tecnológicos (T)		BLOQUE Tecnológicos (T)		BLOQUE Tecnológicos (T)	
EC	EN	SP	T	EC	EN	EC	EN	EC	EN	EC	EN	EC	EN	
1	5	3	3	1,1122	3,3578	3,3017	0,1509						0,26	
1/5	1	1/3	1	0,3689	3,0850									
3	3	1	1	1,9016	3,4624									
				3,38										
4,20	9,00	1,67												

Encuestado F

Matrices de Comparación por Pares					A. Análisis de Consistencia									
					1. Suma Ponderada SP*(MC/PA*/VPA*)		2. Suma ponderada (SP/Vector prioridad (VPA*))		3. Landa max. (Promedio SP/VPA*)		4. Índice de Consistencia (IC)		Relación de Consistencia (RC)	
1. BLOQUE Ambientales (EN) (Se evalúa la influencia sobre los aspectos ambientales)					BLOQUE Ambientales (EN)		BLOQUE Ambientales (EN)		BLOQUE Ambientales (EN)		BLOQUE Ambientales (EN)		BLOQUE Ambientales (EN)	
EC	EN	SP	T	EC	EN	EC	EN	EC	EN	EC	EN	EC	EN	
1	1/5	1/3	5	0,9952	4,3937	4,2380	0,0760						0,09	
5	1	1	5	1,2525	4,3996									
3	1	1	5	1,4334	4,2248									
1/3	1/5	1/5	1	0,3373	4,0943									
				4,28										
7,20	2,20	1,60	16,00											
2. BLOQUE Socio-Políticos (SP) (Se evalúa la influencia sobre los aspectos socio-políticos)					BLOQUE Socio-Políticos (SP)		BLOQUE Socio-Políticos (SP)		BLOQUE Socio-Políticos (SP)		BLOQUE Socio-Políticos (SP)		BLOQUE Socio-Políticos (SP)	
EC	EN	SP	T	EC	EN	EC	EN	EC	EN	EC	EN	EC	EN	
1	5	3	3	3,1133	4,2568	4,7960	0,2860						0,30	
1/5	1	5	1	1,9117	5,4594									
1/3	1/5	1	5	0,7603	4,4233									
1/3	1	1/5	1	0,5999	4,5404									
				4,86										
2,34	11,14	2,34	22,00											
3. BLOQUE Económicos (EC) (Se evalúa la influencia sobre los aspectos económicos)					BLOQUE Económicos (EC)		BLOQUE Económicos (EC)		BLOQUE Económicos (EC)		BLOQUE Económicos (EC)		BLOQUE Económicos (EC)	
EC	EN	SP	T	EC	EN	EC	EN	EC	EN	EC	EN	EC	EN	
1	1/3	5	3	1,7299	5,0302	4,9982	0,3327						0,27	
3	1	1	1	1,6915	5,6161									
1/3	1	1	1	0,5799	4,2794									
1/3	1	3	1	1,0228										
				5,02										
2,22	11,20	3,14	22,00											
4. BLOQUE Tecnológicos (T) (Se evalúa la influencia sobre los aspectos tecnológicos)					BLOQUE Tecnológicos (T)		BLOQUE Tecnológicos (T)		BLOQUE Tecnológicos (T)		BLOQUE Tecnológicos (T)		BLOQUE Tecnológicos (T)	
EC	EN	SP	T	EC	EN	EC	EN	EC	EN	EC	EN	EC	EN	
1	5	3	3	1,1122	3,3578	3,3017	0,1509						0,26	
1/5	1	1/3	1	0,3689	3,0850									
3	3	1	1	1,9016	3,4624									
				3,38										
1,25	11,00	9,00												

Encuestado G

Matrices de Comparación por Pares					A. Análisis de Consistencia									
1. BLOQUE Ambientales (EN)					3. Landa max. (Promedio SP/VPa)		4. Índice de Consistencia (IC)		Relación de Consistencia (RC)					
EC	EN	SP	T		1. Suma Ponderada SP=(MC*PA*VPa)	2. Suma ponderada (SP)/Vector prioridad (VPa)	3. Landa max. (Promedio SP/VPa)	4. Índice de Consistencia (IC)	Relación de Consistencia (RC)					
EC	EN	SP	T		BLOQUE Ambientales (EN)	BLOQUE Ambientales (EN)	BLOQUE Ambientales (EN)	BLOQUE Ambientales (EN)	BLOQUE Ambientales (EN)	BLOQUE Ambientales (EN)				
EC	EN	SP	T		EC	EN	EC	EN	EC	EN				
EN	9	1	0	0	EN	3,8853	EN	6,0771	EN	0,3178				
SP	7	1/9	1	7	SP	1,2371	SP	5,6636	SP					
T	5	1/9	1/7	1	T	0,3919	T	4,0971	T					
	22,00	1,33	10,29	17,20		5,68				0,36				
2. BLOQUE Socio-Políticos (SP)					BLOQUE Socio-Políticos (SP)	BLOQUE Socio-Políticos (SP)	BLOQUE Socio-Políticos (SP)	BLOQUE Socio-Políticos (SP)	BLOQUE Socio-Políticos (SP)	BLOQUE Socio-Políticos (SP)				
EC	EN	SP	T		EC	EN	EC	EN	EC	EN				
EN	3/9	1	1/9	1/3	EN	0,1626	EN	4,7764	EN	0,2544				
SP	9	9	1	9	SP	3,8579	SP	6,0843	SP					
T	1/7	1/3	1/9	1	T	0,2885	T	4,0981	T					
	10,25	22,00	1,33	17,33		5,54				0,29				
3. BLOQUE Económicos (EC)					BLOQUE Económicos (EC)	BLOQUE Económicos (EC)	BLOQUE Económicos (EC)	BLOQUE Económicos (EC)	BLOQUE Económicos (EC)	BLOQUE Económicos (EC)				
EC	EN	SP	T		EC	EN	EC	EN	EC	EN				
EN	3/9	1	1/7	1/7	EN	0,1541	EN	4,1572	EN	0,981				
SP	7	7	1	7	SP	3,8579	SP	5,5206	SP					
T	1/9	1/7	1/5	1	T	0,4865	T		T					
	1,33	24,00	10,54	15,14		5,57				0,49				
4. BLOQUE Tecnológicos (T)					BLOQUE Tecnológicos (T)	BLOQUE Tecnológicos (T)	BLOQUE Tecnológicos (T)	BLOQUE Tecnológicos (T)	BLOQUE Tecnológicos (T)	BLOQUE Tecnológicos (T)				
EC	EN	SP	T		EC	EN	EC	EN	EC	EN				
EN	1/7	1	1	1	EN	0,1987	EN	3,0151	EN	0,2354				
SP	1/7	7	1	1	SP	0,7895	SP	3,3806	SP					
	1,29	15,00	8,14			5,78				0,41				

Encuestado H

Matrices de Comparación por Pares					A. Análisis de Consistencia									
1. BLOQUE Ambientales (EN)					3. Landa Normalizada (MNA)		4. Vector Prioridad (VPa)		Relación de Consistencia (RC)					
EC	EN	SP	T		1. Suma Ponderada SP=(MC*PA*VPa)	2. Suma ponderada (SP)/Vector prioridad (VPa)	3. Landa max. (Promedio SP/VPa)	4. Índice de Consistencia (IC)	Relación de Consistencia (RC)					
EC	EN	SP	T		BLOQUE Ambientales (EN)	BLOQUE Ambientales (EN)	BLOQUE Ambientales (EN)	BLOQUE Ambientales (EN)	BLOQUE Ambientales (EN)	BLOQUE Ambientales (EN)				
EN	3	1	0	0	EN	0,207	EN	4,976	EN	0,095				
SP	3	1/3	1	3	SP	0,652	SP	6,837	SP					
T	0	1/7	1/3	1	T	0,1122	T	4,0759	T					
	14,00	4,00	6,07	11,33		1,00				0,09				
2. BLOQUE Socio-Políticos (SP)					BLOQUE Socio-Políticos (SP)	BLOQUE Socio-Políticos (SP)	BLOQUE Socio-Políticos (SP)	BLOQUE Socio-Políticos (SP)	BLOQUE Socio-Políticos (SP)	BLOQUE Socio-Políticos (SP)				
EC	EN	SP	T		EC	EN	EC	EN	EC	EN				
EN	3/9	1	1/9	1/3	EN	0,380	EN	4,776	EN	0,3007				
SP	9	9	1	9	SP	0,305	SP	5,872	SP					
T	1	1/7	1/3	1	T	0,340	T	4,5794	T					
	2,53	6,29	15,55	12,00		1,00				0,30				
3. BLOQUE Económicos (EC)					BLOQUE Económicos (EC)	BLOQUE Económicos (EC)	BLOQUE Económicos (EC)	BLOQUE Económicos (EC)	BLOQUE Económicos (EC)	BLOQUE Económicos (EC)				
EC	EN	SP	T		EC	EN	EC	EN	EC	EN				
EN	3	1/3	1/3	1/3	EN	0,084	EN	4,258	EN	0,3843				
SP	3	1/3	1	1	SP	0,205	SP	4,7199	SP					
T	3	1/3	1/3	1	T	0,5294	T		T					
	12,00	3,00	8,55	7,50		1,000				0,38				
4. BLOQUE Tecnológicos (T)					BLOQUE Tecnológicos (T)	BLOQUE Tecnológicos (T)	BLOQUE Tecnológicos (T)	BLOQUE Tecnológicos (T)	BLOQUE Tecnológicos (T)	BLOQUE Tecnológicos (T)				
EC	EN	SP	T		EC	EN	EC	EN	EC	EN				
EN	3/5	1	1	1	EN	0,210	EN	3,841	EN	0,039				
SP	5	5	1	5	SP	0,11	SP	3,008	SP					
T	1/7	1/5	1	1	T	0,0873	T	3,037	T					
	1,34	6,33	11,00			1,000				0,06				

Encuestado I

Matrices de Comparación por Pares					A. Análisis de Consistencia									
1. BLOQUE Ambientales (EN)					3. Landa Normalizada (MNA)		4. Vector Prioridad (VPa)		Relación de Consistencia (RC)					
EC	EN	SP	T		1. Suma Ponderada SP=(MC*PA*VPa)	2. Suma ponderada (SP)/Vector prioridad (VPa)	3. Landa max. (Promedio SP/VPa)	4. Índice de Consistencia (IC)	Relación de Consistencia (RC)					
EC	EN	SP	T		BLOQUE Ambientales (EN)	BLOQUE Ambientales (EN)	BLOQUE Ambientales (EN)	BLOQUE Ambientales (EN)	BLOQUE Ambientales (EN)	BLOQUE Ambientales (EN)				
EN	3	1	0	0	EN	0,1200	EN	4,0000	EN	0,0000				
SP	3	1	1/3	1	SP	0,3200	SP	4,0000	SP					
T	3	1	1/3	1	T	0,1200	T	4,0000	T					
	6,00	6,00	1,00	6,00		1,00				0,00				
2. BLOQUE Socio-Políticos (SP)					BLOQUE Socio-Políticos (SP)	BLOQUE Socio-Políticos (SP)	BLOQUE Socio-Políticos (SP)	BLOQUE Socio-Políticos (SP)	BLOQUE Socio-Políticos (SP)	BLOQUE Socio-Políticos (SP)				
EC	EN	SP	T		EC	EN	EC	EN	EC	EN				
EN	3	1	1/3	1	EN	0,2794	EN	4,076	EN	0,0291				
SP	3	3	1/3	1	SP	0,5600	SP	4,076	SP					
T	1/7	1/3	1/3	1	T	0,1606	T	4,0297	T					
	4,48	9,33	1,64	20,00		1,00				0,03				
3. BLOQUE Económicos (EC)					BLOQUE Económicos (EC)	BLOQUE Económicos (EC)	BLOQUE Económicos (EC)	BLOQUE Económicos (EC)	BLOQUE Económicos (EC)	BLOQUE Económicos (EC)				
EC	EN	SP	T		EC	EN	EC	EN	EC	EN				
EN	3	1	1/3	1	EN	0,5570	EN	4,2122	EN	0,041				
SP	3	1	1/3	1	SP	0,1200	SP	4,0000	SP					
T	1/3	1	1/3	1	T	0,2400	T	4,1747	T					
	3,00	6,00	4,50	6,00		1,000				0,05				
4. BLOQUE Tecnológicos (T)					BLOQUE Tecnológicos (T)	BLOQUE Tecnológicos (T)	BLOQUE Tecnológicos (T)	BLOQUE Tecnológicos (T)	BLOQUE Tecnológicos (T)	BLOQUE Tecnológicos (T)				
EC	EN	SP	T		EC	EN	EC	EN	EC	EN				
EN	3/5	1	1	1	EN	0,4500	EN	3,0000	EN	0,0000				
SP	5	5	1	5	SP	0,4500	SP	3,0000	SP					
T	1	1	1	1	T	0,4500	T	3,0000	T					
	2,30	15,00	2,30			1,00				0,00				

Encuestado J

Métricas de Comparación por Pareos					3. Matriz Normalizada (MNA)					4. Vector Prioridad (VPa)					A. Análisis de Consistencia																																																													
															Análisis de Consistencia																																																													
1. BLOQUE Ambiental (EN) <i>Se evalúa la influencia sobre los aspectos ambientales</i>																	1. Suma Prioridad (SP)MCA-VPa												2. Suma prioridad (SP)Vector prioridad (VPa)												3. Lambda max. (Prioridad) (MCA)												4. Índice de Consistencia (IC)												Relación de Consistencia (RC)											
																	BLOQUE Ambiental (EN)												BLOQUE Ambiental (EN)												BLOQUE Ambiental (EN)												BLOQUE Ambiental (EN)												BLOQUE Ambiental (EN)											
																	BLOQUE Socio-Político (SP)												BLOQUE Socio-Político (SP)												BLOQUE Socio-Político (SP)												BLOQUE Socio-Político (SP)												BLOQUE Socio-Político (SP)											
																	BLOQUE Económico (E)												BLOQUE Económico (E)												BLOQUE Económico (E)												BLOQUE Económico (E)												BLOQUE Económico (E)											
																	BLOQUE Tecnológico (T)												BLOQUE Tecnológico (T)												BLOQUE Tecnológico (T)												BLOQUE Tecnológico (T)												BLOQUE Tecnológico (T)											

Encuestado K

Métricas de Comparación por Pareos					3. Matriz Normalizada (MNA)					4. Vector Prioridad (VPa)					A. Análisis de Consistencia																																																													
															Análisis de Consistencia																																																													
1. BLOQUE Ambiental (EN) <i>Se evalúa la influencia sobre los aspectos ambientales</i>																	1. Suma Prioridad (SP)MCA-VPa												2. Suma prioridad (SP)Vector prioridad (VPa)												3. Lambda max. (Prioridad) (MCA)												4. Índice de Consistencia (IC)												Relación de Consistencia (RC)											
																	BLOQUE Ambiental (EN)												BLOQUE Ambiental (EN)												BLOQUE Ambiental (EN)												BLOQUE Ambiental (EN)												BLOQUE Ambiental (EN)											
																	BLOQUE Socio-Político (SP)												BLOQUE Socio-Político (SP)												BLOQUE Socio-Político (SP)												BLOQUE Socio-Político (SP)												BLOQUE Socio-Político (SP)											
																	BLOQUE Económico (E)												BLOQUE Económico (E)												BLOQUE Económico (E)												BLOQUE Económico (E)												BLOQUE Económico (E)											
																	BLOQUE Tecnológico (T)												BLOQUE Tecnológico (T)												BLOQUE Tecnológico (T)												BLOQUE Tecnológico (T)												BLOQUE Tecnológico (T)											

Encuestado L

Métricas de Comparación por Pareos					3. Matriz Normalizada (MNA)					4. Vector Prioridad (VPa)					A. Análisis de Consistencia																																																													
															Análisis de Consistencia																																																													
1. BLOQUE Ambiental (EN) <i>Se evalúa la influencia sobre los aspectos ambientales</i>																	1. Suma Prioridad (SP)MCA-VPa												2. Suma prioridad (SP)Vector prioridad (VPa)												3. Lambda max. (Prioridad) (MCA)												4. Índice de Consistencia (IC)												Relación de Consistencia (RC)											
																	BLOQUE Ambiental (EN)												BLOQUE Ambiental (EN)												BLOQUE Ambiental (EN)												BLOQUE Ambiental (EN)												BLOQUE Ambiental (EN)											
																	BLOQUE Socio-Político (SP)												BLOQUE Socio-Político (SP)												BLOQUE Socio-Político (SP)												BLOQUE Socio-Político (SP)												BLOQUE Socio-Político (SP)											
																	BLOQUE Económico (E)												BLOQUE Económico (E)												BLOQUE Económico (E)												BLOQUE Económico (E)												BLOQUE Económico (E)											
																	BLOQUE Tecnológico (T)												BLOQUE Tecnológico (T)												BLOQUE Tecnológico (T)												BLOQUE Tecnológico (T)												BLOQUE Tecnológico (T)											

Matrices de la encuesta linealizadas.

ENCUESTA A					ENCUESTA E					ENCUESTA I					ENCUESTA M				
	EC	EN	SP	T		EC	EN	SP	T		EC	EN	SP	T		EC	EN	SP	T
EC	0.5585	0.1360	0.2926	0.3914	EC	0.2143	0.1917	0.3690	0.2430	EC	0.5579	0.1250	0.2744	0.4545	EC	0.6178	0.1763	0.4400	0.7352
EN	0.1326	0.5727	0.1553	0.2784	EN	0.1072	0.0658	0.3434	0.7009	EN	0.1219	0.1250	0.1133	0.0909	EN	0.0301	0.5188	0.0371	0.0581
SP	0.2609	0.2355	0.5067	0.3301	SP	0.0357	0.7045	0.2358	0.0562	SP	0.2633	0.6250	0.5660	0.4545	SP	0.2540	0.0773	0.4400	0.2067
T	0.0480	0.0559	0.0455		T	0.6428	0.0380	0.0517		T	0.0569	0.1250	0.0463		T	0.0981	0.2276	0.0829	
ENCUESTA B					ENCUESTA F					ENCUESTA J									
	EC	EN	SP	T		EC	EN	SP	T		EC	EN	SP	T					
EC	0.5654	0.1865	0.6746	0.6854	EC	0.5238	0.1772	0.4176	0.7978	EC	0.5438	0.1128	0.4113	0.2000					
EN	0.0465	0.0424	0.0490	0.0802	EN	0.1507	0.1772	0.1249	0.0969	EN	0.1404	0.2523	0.1475	0.2000					
SP	0.2750	0.1077	0.1095	0.2344	SP	0.2840	0.5925	0.4176	0.1053	SP	0.0395	0.0338	0.3800	0.6000					
T	0.1131	0.6634	0.1669		T	0.0414	0.0530	0.0399		T	0.2763	0.6010	0.0611						
ENCUESTA C					ENCUESTA G					ENCUESTA K									
	EC	EN	SP	T		EC	EN	SP	T		EC	EN	SP	T					
EC	0.1669	0.0936	0.0936	0.0629	EC	0.6978	0.0317	0.2156	0.7419	EC	0.5549	0.0480	0.1672	0.3333					
EN	0.6746	0.6552	0.6552	0.7532	EN	0.0293	0.6936	0.0336	0.0554	EN	0.2516	0.6427	0.6613	0.3333					
SP	0.1095	0.2093	0.2093	0.1839	SP	0.1886	0.2039	0.6889	0.2027	SP	0.0967	0.1010	0.1028	0.3333					
T	0.0490	0.0419	0.0419		T	0.0843	0.0709	0.0619		T	0.0967	0.2083	0.0687						
ENCUESTA D					ENCUESTA H					ENCUESTA L									
	EC	EN	SP	T		EC	EN	SP	T		EC	EN	SP	T					
EC	0.3462	0.1419	0.4890	0.3229	EC	0.0746	0.0617	0.3947	0.7670	EC	0.6455	0.1389	0.7000	0.0802					
EN	0.3047	0.3938	0.2437	0.1104	EN	0.5446	0.6352	0.4032	0.1701	EN	0.0379	0.1511	0.1000	0.2344					
SP	0.1176	0.3819	0.1435	0.5666	SP	0.2339	0.1909	0.1085	0.0629	SP	0.2243	0.3105	0.1000	0.6854					
T	0.2315	0.0824	0.1238		T	0.1469	0.1122	0.0937		T	0.0922	0.3996	0.1000						

Cálculo de prioridades basado en la opinión de académicos.

MATRIZ ORIGINAL NO PONDERADA

	MEDIO AMBIENTALES			ECONÓMICOS				SOCIO-POLÍTICOS					TECNOLÓG.	
	MA1	MA2	MA3	EC1	EC2	EC3	EC4	SP1	SP2	SP3	SP4	SP5	T1	T2
MA1				0.0966			0.6253		0.9000	0.6218		0.7343	0.4286	
MA2	0.1250		1.0000	0.7330			0.2636			0.0785		0.0956	0.4286	
MA3	0.8750			0.1704			0.1111		0.1000	0.2998		0.1702	0.1429	
EC1								0.8333				0.5000		1.0000
EC2				1.0000		0.8750	1.0000			0.1890		0.5000		
EC3										0.0919				
EC4	1.0000					0.1250		0.1667		0.7190				
SP1										0.3609				
SP2										0.5803		0.1000	0.1388	
SP3											1.0000	0.9000	0.7843	
SP4	1.0000	1.0000	1.0000										0.0769	
SP5				1.0000						0.0588				
T-1	0.8750	0.8333	1.0000	0.1667	0.8750		1.0000							
T-2	0.1250	0.1667		0.8333	0.1250							1.0000		
	4.0000	2.0000	3.0000	4.0000	1.0000	1.0000	3.0000	1.0000	1.0000	3.0000	1.0000	4.0001	2.0001	1.0000

Matriz de ponderación:

	EC	EN	SP	T
EC	0.5113	0.1522	0.4171	0.4600
EN	0.1574	0.3783	0.1921	0.2249
SP	0.1937	0.2910	0.3054	0.3151
T	0.1376	0.1784	0.0854	0.0000

MATRIZ PONDERADA

	MEDIO AMBIENTALES			ECONÓMICOS				SOCIO-POLÍTICOS					TECNOLÓG.	
	MA1	MA2	MA3	EC1	EC2	EC3	EC4	SP1	SP2	SP3	SP4	SP5	T1	T2
MA1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0152	0.0000	0.0000	0.0985	0.0000	0.1729	0.1195	0.0000	0.1411	0.0964	0.0000
MA2	0.0473	0.0000	0.3783	0.1154	0.0000	0.0000	0.0415	0.0000	0.0000	0.0151	0.0000	0.0184	0.0964	0.0000
MA3	0.3310	0.0000	0.0000	0.0268	0.0000	0.0000	0.0175	0.0000	0.0192	0.0576	0.0000	0.0327	0.0321	0.0000
EC1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.3476	0.0000	0.0000	0.0000	0.2086	0.0000	0.4600
EC2	0.0000	0.0000	0.0000	0.5113	0.0000	0.4473	0.5113	0.0000	0.0000	0.0788	0.0000	0.2086	0.0000	0.0000
EC3	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0383	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
EC4	0.1522	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0639	0.0000	0.0695	0.0000	0.2999	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
SP1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.1102	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
SP2	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.1772	0.0000	0.0305	0.0437	0.0000
SP3	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.3054	0.2748	0.2471	0.0000
SP4	0.2910	0.2910	0.2910	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0242	0.0000
SP5	0.0000	0.0000	0.0000	0.1937	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0180	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
T-1	0.1561	0.1487	0.1784	0.0229	0.1204	0.0000	0.1376	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
T-2	0.0223	0.0297	0.0000	0.1147	0.0172	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0854	0.0000	0.0000
Σ	1.0000	0.4694	0.8478	1.0000	0.1376	0.5113	0.8063	0.4171	0.1921	0.9146	0.3054	1.0000	0.5400	0.4600
	1	2.13024822	1.17959269	1	7.26617556	1.95596954	1.24019318	2.39724292	5.20468927	1.09335612	3.27485236	0.99998079	1.85182873	2.17383861

MATRIZ PONDERADA NORMALIZADA

	MEDIO AMBIENTALES			ECONÓMICOS				SOCIO-POLÍTICOS					TECNOLÓG.	
	MA1	MA2	MA3	EC1	EC2	EC3	EC4	SP1	SP2	SP3	SP4	SP5	T1	T2
MA1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0152	0.0000	0.0000	0.1221	0.0000	0.9000	0.1306	0.0000	0.1411	0.1785	0.0000
MA2	0.0473	0.0000	0.4463	0.1154	0.0000	0.0000	0.0515	0.0000	0.0000	0.0165	0.0000	0.0184	0.1785	0.0000
MA3	0.3310	0.0000	0.0000	0.0268	0.0000	0.0000	0.0217	0.0000	0.1000	0.0630	0.0000	0.0327	0.0595	0.0000
EC1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.8333	0.0000	0.0000	0.0000	0.2086	0.0000	1.0000
EC2	0.0000	0.0000	0.0000	0.5113	0.0000	0.8750	0.6341	0.0000	0.0000	0.0862	0.0000	0.2086	0.0000	0.0000
EC3	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0419	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
EC4	0.1522	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.1250	0.0000	0.1667	0.0000	0.3279	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
SP1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.1205	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
SP2	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.1937	0.0000	0.0305	0.0810	0.0000
SP3	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.2748	0.4576	0.0000
SP4	0.2910	0.6200	0.3433	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0449	0.0000
SP5	0.0000	0.0000	0.0000	0.1937	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0196	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
T-1	0.1561	0.3167	0.2104	0.0229	0.8750	0.0000	0.1707	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
T-2	0.0223	0.0633	0.0000	0.1147	0.1250	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0854	0.0000	0.0000
Σ	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000

SUPERMATRIZ LÍMITE

(Potencia 32)

	MA1	MA2	MA3	EC1	EC2	EC3	EC4	SP1	SP2	SP3	SP4	SP5	T1	T2
MA1	0.1037	0.1037	0.1037	0.1037	0.1037	0.1037	0.1037	0.1037	0.1037	0.1037	0.1037	0.1037	0.1037	0.1037
MA2	0.0720	0.0720	0.0720	0.0720	0.0720	0.0720	0.0720	0.0720	0.0720	0.0720	0.0720	0.0720	0.0720	0.0720
MA3	0.0623	0.0623	0.0623	0.0623	0.0623	0.0623	0.0623	0.0623	0.0623	0.0623	0.0623	0.0623	0.0623	0.0623
EC1	0.0454	0.0454	0.0454	0.0454	0.0454	0.0454	0.0454	0.0454	0.0454	0.0454	0.0454	0.0454	0.0454	0.0454
EC2	0.0966	0.0966	0.0966	0.0966	0.0966	0.0966	0.0966	0.0966	0.0966	0.0966	0.0966	0.0966	0.0966	0.0966
EC3	0.0074	0.0074	0.0074	0.0074	0.0074	0.0074	0.0074	0.0074	0.0074	0.0074	0.0074	0.0074	0.0074	0.0074
EC4	0.0778	0.0778	0.0778	0.0778	0.0778	0.0778	0.0778	0.0778	0.0778	0.0778	0.0778	0.0778	0.0778	0.0778
SP1	0.0211	0.0211	0.0211	0.0211	0.0211	0.0211	0.0211	0.0211	0.0211	0.0211	0.0211	0.0211	0.0211	0.0211
SP2	0.0466	0.0466	0.0466	0.0466	0.0466	0.0466	0.0466	0.0466	0.0466	0.0466	0.0466	0.0466	0.0466	0.0466
SP3	0.1755	0.1755	0.1755	0.1755	0.1755	0.1755	0.1755	0.1755	0.1755	0.1755	0.1755	0.1755	0.1755	0.1755
SP4	0.1030	0.1030	0.1030	0.1030	0.1030	0.1030	0.1030	0.1030	0.1030	0.1030	0.1030	0.1030	0.1030	0.1030
SP5	0.0122	0.0122	0.0122	0.0122	0.0122	0.0122	0.0122	0.0122	0.0122	0.0122	0.0122	0.0122	0.0122	0.0122
T-1	0.1510	0.1510	0.1510	0.1510	0.1510	0.1510	0.1510	0.1510	0.1510	0.1510	0.1510	0.1510	0.1510	0.1510
T-2	0.0252	0.0252	0.0252	0.0252	0.0252	0.0252	0.0252	0.0252	0.0252	0.0252	0.0252	0.0252	0.0252	0.0252

ANEXO III. ESTIMACIÓN DE LA VIABILIDAD ECONÓMICA DE UN POZO DE GAS DE PIZARRA EN ESPAÑA

En este apartado se va a analizar la rentabilidad de un pozo de gas de pizarra en España en función de la variación de los principales factores que afectan a la misma, que son los costes iniciales de inversión del pozo y el precio del gas. El autor ha analizado la influencia de la variación de los costes de operación pero no se muestran los resultados al no tener una influencia sobre la rentabilidad tan decisiva como los parámetros citados anteriormente.

Se determinan los principales parámetros económicos: Valor Actual Neto (net present value, NPV), Tasa Interna de Retorno (Internal Return Rate, IRR), y Período de Retorno de la Inversión (Payback) .

Costes del suelo.- En España, a diferencia de lo que ocurre en EE.UU., los recursos del subsuelo pertenecen al Estado (bienes demaniales). La explotación de los mismos se considera de utilidad pública y se materializa a través del otorgamiento de concesiones de explotación. Esta consideración de utilidad pública, del terreno requerido para la extracción del gas de pizarra, permite la expropiación a favor de la empresa explotadora.

Sin embargo, Ley 8/2015, de 21 de mayo, por la que se modifica la Ley 34/1998, de 7 de octubre, del Sector de Hidrocarburos, y por la que se regulan determinadas medidas tributarias y no tributarias en relación y con la exploración, investigación y explotación de hidrocarburos estableció por primera vez una compensación a los propietarios de los terrenos donde se ubica el recurso, consistente en el pago del 1% del valor monetario de la cantidad de hidrocarburos extraído, proporcionalmente a la superficie de la propiedad en relación con la superficie afectada por el pozo.

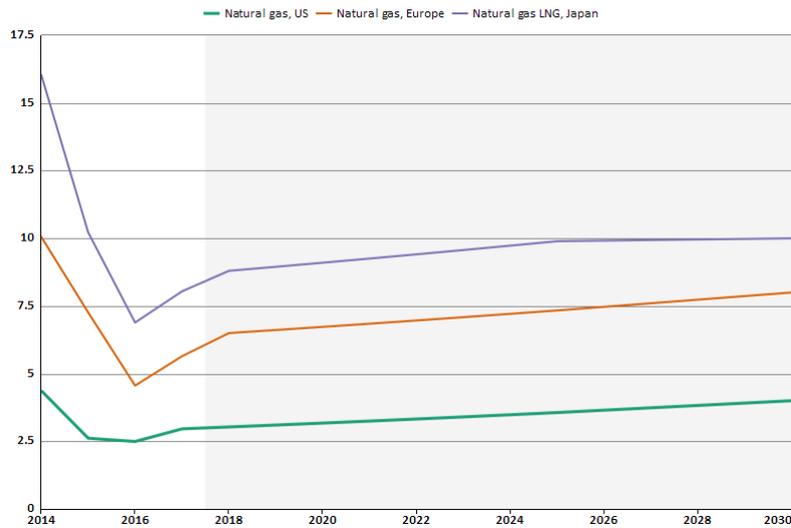
Costes de capital (Capital Expenditures, CAPEX).- Es el factor que influye de forma decisiva en la falta absoluta de rentabilidad en la actualidad de la fracturación hidráulica en Europa y en particular en España. Como se ha mencionado en el apartado 2.3.2.1, los costes de ejecución de un pozo en EE.UU. y Canadá pueden estimarse en el rango de 6 a 9 millones de dólares, mientras que los costes de un pozo en España serían de 3,5 a 5 veces ese valor, en el entorno de los 25 millones de euros.

Precio del gas.- El Banco Mundial realiza proyecciones de precios de las principales commodities. En el caso del gas natural, en su última estimación de abril de 2018 establece un precio para Europa de 8\$/MMBtu en 2030. En el estudio de la rentabilidad en función del coste de inversión se ha considerado un precio de gas de 10\$/MMBtu ya que la tendencia post 2030 es ascendente, y con el fin de determinar el coste mínimo del pozo en un escenario favorable del precio del gas.

En la figura siguiente se representa la proyección del precio del gas ofrecida por el Banco Mundial en su informe de abril de 2018¹.

¹ <http://comstat.comesa.int/ncszerf/natural-gas-prices-forecast-long-term-2018-to-2030-data-and-charts>

World Bank Natural Gas Price Forecast
nominal US dollars (\$/mmbtu)



Costes de operación (Operation Expenditures, OPEX).- Son los costes directos asociados a las operaciones. Estos costes varían en función del número de pozos en producción, y cambian con los precios de las commodities como el combustible, la antigüedad del pozo (tratamiento químico y vigilancia, corrosión), el número y tipo de pozos y las instalaciones de superficie, flujo y volumen del producto, longitud del sistema de recolección; producción y eliminación de agua y los servicios de mantenimiento del pozo.

Aunque los costes de operación pueden variar ampliamente de unos países a otros, básicamente en función del grado de penetración de la tecnología, como se ha mencionado anteriormente, no es un parámetro decisivo en la determinación de la rentabilidad en España, condicionada principalmente por el coste del pozo.

Impuestos.- En España la producción de hidrocarburos está gravada con un impuesto general del 40%. No obstante, la normativa tributaria permite compensar un importe igual a la mitad de las pérdidas, durante un período de 18 años, lo que resulta en una carga fiscal menor que la que en principio cabría suponer teniendo en consideración sólo el tipo de gravamen mencionado.

Además, la Ley 8/2015, de 21 de mayo, por la que se modifica la Ley 34/1998, de 7 de octubre, del Sector de Hidrocarburos, y por la que se regulan determinadas medidas tributarias y no tributarias en relación con la exploración, investigación y explotación de hidrocarburos incorpora el Impuesto sobre el Valor de la Extracción de Gas, Petróleo y Condensados, de carácter directo y naturaleza real, que grava el valor de los productos del dominio público gas, petróleo y condensados extraídos en territorio español. Se establece una escala de gravamen progresiva en función del volumen de producción, que además tiene en consideración la influencia de ciertas características técnicas de los proyectos con influencia en la rentabilidad económica del mismo, tales como su ubicación concreta o la tecnología aplicada.

La escala de gravamen del impuesto sobre el valor de la extracción de gas (Ley 8/2015) es la siguiente:

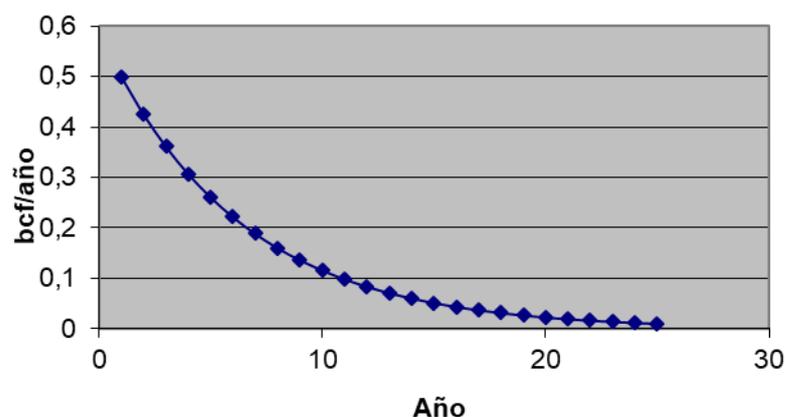
Volumen extraído periodo impositivo	Tipo impositivo		
	Explotación marina	Explotación en tierra	
	Convencional	Convencional	No convencional
Hasta 32.850.000 m ³	1 %	3 %	1 %
De 32.850.000 hasta 164.250.000 m ³ . . .	3 %	4 %	3 %
Más de 164.250.000 m ³	4 %	5 %	4 %

Producción de gas. – La curva de producción de un pozo de gas varía ampliamente de unas cuencas a otras. Su forma es exponencial y responde a la siguiente formulación:

$$q_n = q_i \cdot (1+a)^n$$

Donde q_n es la tasa de flujo en el año n , q_i es la tasa inicial de flujo en el primer año y " a " es el ratio de reducción anual (se toma $a=-0,15$, de conformidad con Weijermars, 2013).

En la siguiente figura se muestra la curva de producción de un pozo tipo (adaptada de Weijermars, 2013).



En la siguiente tabla se muestran los parámetros económicos de las principales cuencas europeas de gas de pizarra (Weijermars, 2013).

² Weijermars, R., 2013. Economic appraisal of gas de pizarra plays in Continental Europe. Applied Energy 106, 100-115.

	Alum Sweden	Silurian Poland	Posidonia Germany	Shale Austria	Shale Turkey
EUR/Well (Bcf- 25 years) ^a	3.25	3.25	3.25	6.55	1.97
Productivity year 1 flow rate (bcf/ year) ^a	0.50	0.50	0.50	1.00	0.30
Well CAPEX (\$/MM) ^b	15	14	13	24.5	8.1
OPEX (\$/Mcf) ^b	0.6	0.5	0.6	0.4	1.2
Other OPEX (\$/Mcf) ^b	1.4	1.0	1.2	1.0	1.0
Royalty rate (%) ^b	0	1.5	8	10	13
Corporate tax (%) ^b	28	19	30	25	20
Depreciation (%) ^c	10	10	10	10	10
Discount rate (%) ^c	5	5	5	5	5

Tomando como referencia los datos de la tabla anterior, para el estudio económico del caso español se tomarán los siguientes parámetros:

Coste de capital (CAPEX, MM\$)	10-25
Producción (primer año- total)	0,5 (primer año)/3,28bcf (total 25 años)
Precio del gas	6-11 \$/Mcf
Costes de operación	0,5-4\$/Mcf
Incremento anual costes operación	1%/año
Tasa de descuento	5%

La amortización de los equipos se ha realizado mediante el sistema de los números dígitos decrecientes durante 10 años.

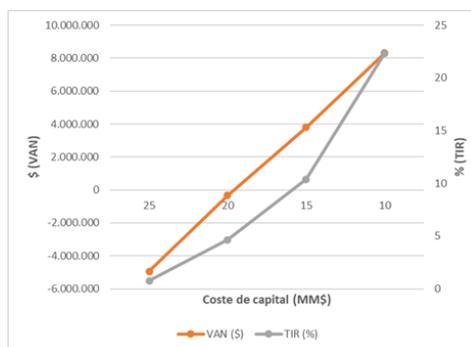
En relación con los impuestos, se han compensado el 50% de las pérdidas durante 18 años, como se ha mencionado anteriormente. Así mismo, se ha considerado la compensación a los propietarios de los terrenos en relación con el volumen de gas producido, y el nuevo impuesto sobre el valor de la extracción de gas.

A) RENTABILIDAD EN FUNCIÓN DE LA VARIACIÓN DE LOS COSTES DE CAPITAL (CAPEX)

Recuperación final del pozo EUR(bcf)	3,28
Precio del gas (\$/MMBTU)	10 (Table 25)
Costes de operación, OPEX (\$/Mcf)	1,5
Tasa de descuento	5
Costes de capital (CAPEX)	VARIABLE

Se muestran a continuación los parámetros de rentabilidad en función de la variación de los costes de capital.

Coste de capital (MM\$)	VAN (\$)	TIR (%)	P. retorno (años)	P. retorno descontado (años)
25	-4.929.184	0,76	16,5	>25
20	-335.018	4,64	8	>25
15	3.792.510	10,38	5,5	7
10	8.315.621	22,34	3,5	3,5

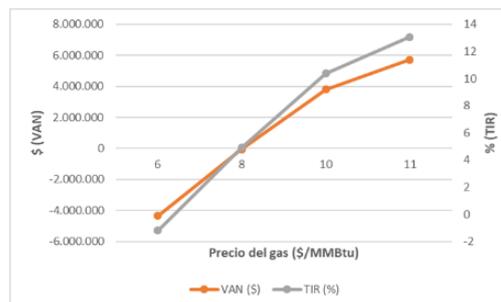


B) RENTABILIDAD EN FUNCIÓN DEL PRECIO DEL GAS

Recuperación final del pozo EUR(bcf)	3,28
Precio del gas (\$/MMBTU)	VARIABLE (Table 25)
Costes de operación, OPEX (\$/Mcf)	1,5
Tasa de descuento	5
Costes de capital (CAPEX)	15

Se muestran a continuación los parámetros de rentabilidad en función de la variación del precio del gas.

Precio del gas (\$/MMBTU)	VAN (\$)	TIR (%)	P. retorno (años)	P. retorno descontado (años)
6	-4.351.701	-1,2	>25	>25
8	-58.831	4,91	8	>25
10	3.792.510	10,38	5,5	7
11	5.718.180	13,06	4,5	5,5



Considerando, dado el riesgo asociado a un proyecto minero, una tasa interna de retorno mínima (conocida como tasa de corte) del 10% para considerar la ejecución del Proyecto, se tiene que cumplir que:

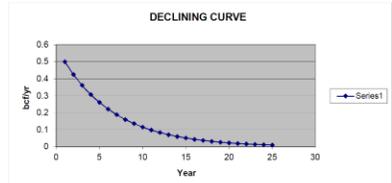
- Los costes de capital deben ser menores de 15 millones de dólares.
- Asumiendo que en España se llegue a rebajar los costes de ejecución de un pozo hasta los 15 millones de dólares, los precios del gas no deben bajar de los 10 dólares por cada millón de Btu.

Las hojas de cálculo del análisis de rentabilidad se adjuntan a continuación.

CAPEX VARIATION 1

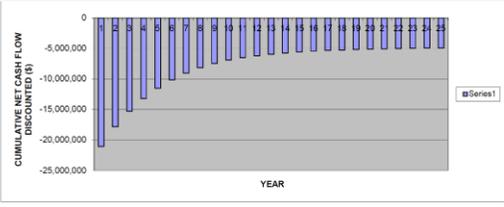
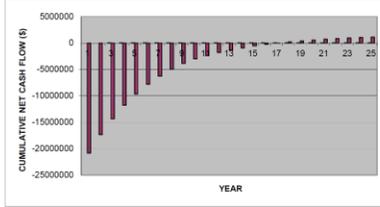
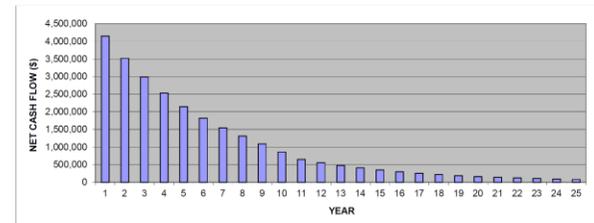
Economic evaluation of a shale gas well

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	TOTAL	
Sales (\$)		5,000,000	4,250,000	3,612,500	3,070,625	2,610,031	2,218,527	1,885,748	1,602,895	1,362,483	1,158,085	984,372	836,716	711,209	604,527	513,848	436,771	371,255	315,567	268,232	227,897	193,798	164,728	140,019	119,016	101,164	32,780,073	
Operating expenditures (\$)		750,000	843,876	952,787	1,074,550	1,207,401	1,349,754	1,500,284	1,657,777	1,821,301	1,988,987	2,159,861	2,334,025	2,511,587	2,692,654	2,877,321	3,065,588	3,257,455	3,452,922	3,652,389	3,855,856	4,063,323	4,274,790	4,490,257	4,709,724	4,933,191	5,160,658	
MARGEN DE CONTRIBUCION		4,250,000	3,406,125	2,659,713	2,096,075	1,402,630	968,773	385,464	1,345,109	1,141,181	968,098	801,288	698,692	590,998	501,328	425,250	360,709	305,957	259,508	220,105	186,680	158,327	134,277	113,876	96,873	81,896	27,676,619	
Amortization		4,545,455	4,990,809	5,436,164	5,881,518	6,326,873	6,772,227	7,217,581	7,662,935	8,108,289	8,553,643	8,998,997	9,444,351	9,889,705	10,335,059	10,780,413	11,225,767	11,671,121	12,116,475	12,561,829	13,007,183	13,452,537	13,897,891	14,343,245	14,788,599	15,233,953	25,000,000	
Law 9/2017 taxes (2%)		100,000	85,000	72,250	61,413	52,201	44,371	37,715	32,058	27,249	23,182	19,687	16,734	14,224	12,091	10,277	8,735	7,425	6,311	5,365	4,560	3,876	3,296	2,800	2,380	2,023	696,201	
BAT		-395,455	-569,784	-648,880	-647,156	-576,843	-448,325	-270,413	-50,585	204,812	490,391	801,581	1,051,581	1,251,581	1,401,581	1,501,581	1,551,581	1,551,581	1,501,581	1,401,581	1,251,581	1,051,581	801,581	551,581	301,581	58,181	1,921,819	
Depletion factor		-158,182	-227,814	-259,652	-268,862	-230,737	-179,330	-108,165	-20,234	81,925	195,156	320,632	451,108	586,584	722,060	857,536	983,012	1,098,488	1,203,964	1,309,440	1,414,916	1,520,392	1,625,868	1,731,344	1,836,820	1,942,296	2,047,772	
Compensation from previous years		-237,273	-341,870	-389,328	-388,294	-346,106	-288,995	-182,248	-30,351	59,228	230,574	417,288	544,314	621,340	658,366	658,366	618,366	544,314	437,288	300,262	163,236	26,210	4,224	2,985	-7,145	-15,737	70,818	
Corporate tax (35%)		-395,455	-569,784	-648,880	-647,156	-576,843	-448,325	-270,413	-50,585	184,082	409,890	655,530	891,170	1,086,810	1,232,450	1,328,090	1,373,730	1,373,730	1,328,090	1,232,450	1,086,810	891,170	655,530	409,890	184,082	58,181	1,133,631	
RESULTADO DEL EJERCICIO		-395,455	-569,784	-648,880	-647,156	-576,843	-448,325	-270,413	-50,585	184,082	409,890	655,530	891,170	1,086,810	1,232,450	1,328,090	1,373,730	1,373,730	1,328,090	1,232,450	1,086,810	891,170	655,530	409,890	184,082	58,181	1,133,631	
Net cash flow		4,150,000	3,521,125	2,967,483	2,534,662	2,150,429	1,824,402	1,547,769	1,313,051	1,093,173	894,235	695,530	559,447	477,932	408,777	350,110	300,341	258,121	222,307	191,926	166,156	144,288	125,757	110,031	96,693	79,873	26,133,631	
Operating cash flow		4,150,000	3,521,125	2,967,483	2,534,662	2,150,429	1,824,402	1,547,769	1,313,051	1,113,002	944,936	801,581	678,957	576,773	489,236	414,973	351,974	298,531	253,197	214,741	182,120	154,451	130,982	111,076	94,192	79,873	26,921,418	
Capital expenditure (CAPEX)		25,000,000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25,000,000	
CASH FLOW		-25,000,000	4,150,000	3,521,125	2,967,483	2,534,662	2,150,429	1,824,402	1,547,769	1,313,051	1,093,173	894,235	695,530	559,447	477,932	408,777	350,110	300,341	258,121	222,307	191,926	166,156	144,288	125,757	110,031	96,693	79,873	1,133,631
DISCOUNTED (5%)		3,952,381	3,193,764	2,580,700	2,085,273	1,684,918	1,361,397	1,099,970	868,725	704,669	530,565	383,279	311,521	253,458	206,460	168,409	137,690	112,617	92,373	75,952	62,623	51,795	42,960	35,823	29,981	23,587		
NPV		-4,929,184																										
IRR (%)		0.76																										
CUMULATIVE CASH FLOW		-25,000,000	-20,850,000	-17,328,875	-14,341,392	-11,806,729	-9,656,300	-7,831,898	-6,284,129	-4,971,078	-3,877,905	-3,013,670	-2,388,140	-1,798,692	-1,220,760	-661,887	-212,532	131,121	313,618	515,545	727,471	949,397	1,171,323	1,393,249	1,615,175	1,837,101	2,059,027	
CUMULATIVE CASH FLOW DISCOUNTED		-25,000,000	-21,647,619	-17,853,855	-15,273,154	-13,187,882	-11,502,964	-10,141,567	-9,041,597	-8,152,872	-7,448,203	-6,917,637	-6,534,362	-6,222,841	-5,969,383	-5,742,923	-5,544,514	-5,369,026	-5,213,511	-5,077,946	-4,959,307	-4,856,521	-4,768,586	-4,694,451	-4,633,816	-4,583,181	-4,541,546	
PAYBACK (yr)		16.5																										
DISCOUNTED PAYBACK (yr)		25																										



INCOME SALES (\$)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
bcf	0.5	0.425	0.36125	0.3070625	0.261003125	0.221852656	0.188574758	0.160288544	0.136245263	0.115808473	0.098437202	0.083671622	0.071120879	0.060452747	0.051384835	0.043677711	0.0371255	0.031557	0.026823	0.0228	0.01938	0.016473	0.014002	0.011901599	0.010116
M/MBTU	500000	425000	361250	307062.5	261003.125	221852.656	188574.758	160288.544	136245.263	115808.473	98437.202	83671.622	71120.879	60452.747	51384.835	43677.711	37125.543	31556.71	26823.2	22799.72	19379.77	16472.8	14001.86	11901.98951	10116.36
Ingreso (103 MMBTU)	5000000	4250000	3612500	3070625	2610031.25	2218526.563	1885747.578	1602885.441	1362452.625	1158084.731	984372.0217	836716.2184	711208.7857	604527.4678	513848.3477	436771.0955	371255.43	315567.1	268232.2279972	227997.72	193797.77	164728.8	140018.6	119015.9851	101163.6
Operating cost (\$/Mcfr)	1.5	1.515	1.53015	1.5454515	1.560906015	1.576515075	1.592280226	1.608203028	1.624285058	1.640527909	1.656933188	1.67350252	1.690237545	1.707139621	1.72421132	1.741453433	1.758868	1.776457	1.794221	1.812163	1.830285	1.848588	1.867074	1.88574528	1.904602
Total operating cost (\$)	750000	643875	552766.6875	474550.2012	407401.3477	349754.057	300263.858	257776.5221	221301.1442	189987.0323	163103.8672	140024.67	12021.1792	103201.2973	8898.31377	76081.65237	65298.929	56059.13	48126.76	41316.83	35470.5	30451.42	26142.54	22443.37427	19267.64



PRODUCTION (bcf/yr)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
	0.5	0.425	0.36125	0.3070625	0.261003125	0.221852656	0.188574758	0.160288544	0.136245263	0.115808473	0.098437202	0.083671622	0.071120879	0.060452747	0.051384835	0.043677711	0.037125543	0.0315571	0.0268232	0.0228	0.01938	0.016473	0.014002	0.011901599	0.010116

Evaluación de la sostenibilidad de la fracturación hidráulica basada en la técnica de decisión multicriterio Fuzzy-ANP

Economic evaluation of a shale gas well

CAPEX VARIATION 2

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	TOTAL	
Sales (\$)		5,000,000	4,300,000	3,612,500	3,070,625	2,610,031	2,218,627	1,885,748	1,602,888	1,362,463	1,160,086	984,372	838,718	711,200	604,527	513,868	438,771	371,256	316,697	268,232	227,897	193,798	164,728	140,019	119,016	101,164	83,760	33,760,073
Operating expenditures (\$)		750,000	643,875	552,750	474,550	407,401	349,754	300,254	257,777	221,301	189,967	163,104	140,025	120,211	103,201	89,586	76,902	65,299	55,059	46,127	41,317	35,470	30,451	26,143	22,443	19,259	15,844	5,183,454
MARGEN DE CONTRIBUCIÓN		4,250,000	3,656,125	3,059,750	2,596,075	2,202,630	1,868,773	1,585,494	1,345,109	1,141,161	968,098	821,268	698,692	590,989	501,326	425,282	360,709	305,957	259,508	220,105	198,880	168,327	134,277	113,876	96,573	81,896	67,916	27,576,619
Amortization		3,636,354	3,727,227	2,909,091	2,546,485	2,181,815	1,816,182	1,454,545	1,090,909	727,273	363,636																	20,000,000
Law & O&IT fees (2%)		100,000	65,000	72,250	61,413	52,201	44,371	37,716	32,058	27,249	23,162	19,687	16,734	14,224	12,091	10,277	8,735	7,425	6,311	5,365	4,560	3,876	3,295	2,800	2,380	2,023	1,664	656,201
BAT		513,656	248,398	78,362	-10,792	-31,389	6,220	83,223	222,142	388,620	581,299	801,581	679,667	576,773	489,236	414,973	351,974	298,531	253,187	214,741	182,120	154,451	130,862	111,076	94,192	79,873	69,211	6,921,418
Depletion factor		205,455	99,359	31,357	-4,317	-12,556	2,488	37,269	88,857	154,652	232,520	320,632	271,963	230,709	195,694	165,969	140,790	119,415	101,279	85,896	72,848	61,790	52,363	44,450	37,677	31,949	27,565	2,166,667
Compensation from previous years																												12,664
Taxable corporation tax		308,182	149,039	47,035	-6,475	-18,833	3,732	55,934	133,285	231,878	348,780	468,294	407,974	346,054	293,541	248,984	211,184	179,119	151,918	128,844	109,272	92,671	78,589	66,648	56,515	47,924	4,140,196	
Corporate Tax (35%)		107,864	52,164	16,462	-2,298	-6,592	1,309	19,577	48,689	81,192	122,073	163,903	142,791	121,122	102,739	87,144	73,915	62,892	53,771	45,096	38,245	32,438	27,508	23,328	19,790	16,773	1,449,089	
RESULTADO DEL EJERCICIO		406,773	196,234	61,930	-8,528	-28,797	4,914	73,646	175,492	305,437	499,227	637,676	537,166	458,651	388,496	327,829	278,059	236,840	200,025	169,645	143,876	122,016	103,476	87,750	74,412	63,099	52,373	6,472,349

Net cash flow	4,042,136	3,488,961	2,971,021	2,536,929	2,157,021	1,823,096	1,528,192	1,296,401	1,032,710	822,863	637,678	537,166	456,651	388,496	327,829	278,059	236,840	200,025	169,645	143,876	122,016	103,476	87,750	74,412	63,099	52,373	26,472,349	
Operating cash flow	4,150,000	3,521,125	2,997,483	2,534,862	2,150,429	1,824,402	1,547,769	1,313,051	1,113,902	944,936	801,581	679,667	576,773	489,236	414,973	351,974	298,531	253,187	214,741	182,120	154,451	130,862	111,076	94,192	79,873	69,211	26,521,418	
Capital expenditure (CAPEX)	-20,000,000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
CASH FLOW	-20,000,000	4,042,136	3,488,961	2,971,021	2,536,929	2,157,021	1,823,096	1,528,192	1,296,401	1,032,710	822,863	637,678	537,166	456,651	388,496	327,829	278,059	236,840	200,025	169,645	143,876	122,016	103,476	87,750	74,412	63,099	52,373	6,472,349
DISCOUNTED (6%)	3,849,854	3,145,450	2,566,480	2,087,137	1,690,082	1,300,422	1,098,057	957,150	866,694	805,167	772,637	729,114	681,641	641,641	602,167	567,891	538,496	511,119	486,845	464,876	445,225	426,188	410,276	396,488	383,619	372,349	362,349	

NPV
IRR (%)

-335.018
4.94

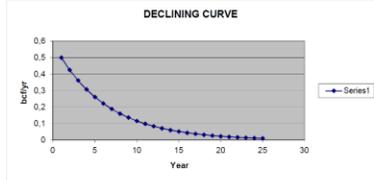
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
CUMULATIVE CASH FLOW	-20,000,000	-15,957,864	-12,468,902	-9,517,881	-6,990,953	-4,823,932	-3,000,836	-1,472,844	-206,243	828,466	1,649,331	2,287,008	2,824,176	3,270,829	3,646,322	3,964,180	4,227,210	4,438,056	4,598,076	4,707,076	4,775,720	4,812,666	4,831,612	4,841,268	4,848,833	4,850,250	4,852,349
CUMULATIVE CASH FLOW DISCOUNTED	-20,000,000	-16,150,346	-13,003,896	-10,437,416	-8,350,279	-6,860,167	-5,299,774	-4,213,717	-3,358,567	-2,680,873	-2,185,706	-1,812,869	-1,513,755	-1,271,113	-1,076,906	-919,215	-791,833	-688,937	-605,822	-538,668	-484,463	-440,686	-405,293	-376,724	-353,651	-335,018	

PAYBACK (yr)

8

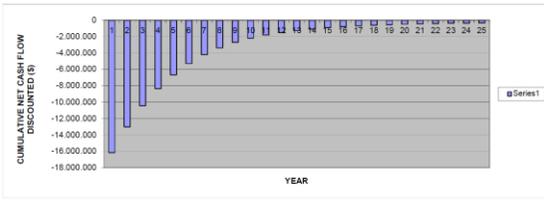
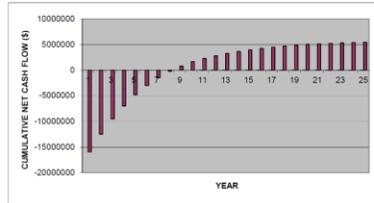
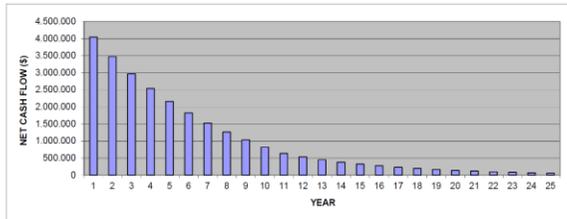
DISCOUNTED PAYBACK (yr)

>25



INCOME SALES (\$)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
bcf	0.5	0.425	0.38125	0.3070625	0.261003125	0.221852656	0.188574758	0.160288544	0.136245263	0.115808473	0.098437202	0.083671622	0.071120879	0.060452747	0.051384835	0.043677111	0.03712554	0.031556712	0.0268232	0.0227997	0.0193797	0.0164728	0.014001881	0.011901599	0.010116	
MMBTU	500000	425000	361250	307062.5	261003.125	221852.656	188574.758	160288.544	136245.263	115808.473	98437.202	83671.62184	71120.8787	60452.74678	51384.83477	43677.10955	37125.5431	31556.71165	26823.205	22799.724	19379.7655	16472.8007	14001.8806	11901.59851	10116.36	
Incomes (10\$/MMBTU)	5000000	4250000	3612500	3070625	2610031.25	2218526.563	1885747.578	1602885.441	1362452.635	1158084.731	984372.0217	836716.2184	711208.787	604527.4678	513848.3477	436771.0955	371255.431	315567.1165	268232.05	227997.24	193797.655	164728.007	140018.806	119015.9851	101163.6	
Operating cost (\$/Mcf)	1.5	1.515	1.53015	1.5454515	1.560906015	1.576515075	1.592280226	1.608230328	1.624385058	1.640627909	1.656953188	1.673362832	1.689847546	1.707399211	1.724911332	1.742483433	1.759917977	1.777216477	1.794472122	1.811686345	1.828760724	1.845696751	1.862494924	1.879155739	1.895679594	1.912067007
Total operating cost (\$)	750000	643875	552766.875	474550.212	407401.3477	349754.057	300263.858	257776.5221	221301.1442	189987.0323	163103.9672	140024.67	120211.1792	103201.2973	88598.31377	76061.65237	65298.9296	56056.13017	48126.763	41316.826	35470.4953	30451.4202	26142.54428	22443.7427	19267.64	



PRODUCTION (bcf/yr)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
0.5	0.425	0.38125	0.3070625	0.261003125	0.221852656	0.188574758	0.160288544	0.136245263	0.115808473	0.098437202	0.083671622	0.071120879	0.060452747	0.051384835	0.043677111	0.03712554	0.031556712	0.0268232	0.022799724	0.0193797	0.0164728	0.014001881	0.011901599	0.010116369

Economic evaluation of a shale gas well

CAPEX VARIATION 3

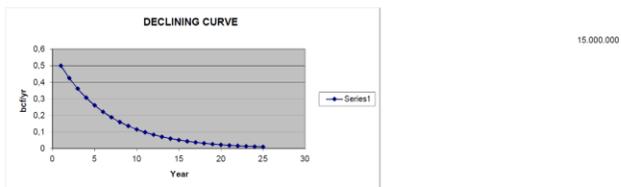
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	TOTAL
Sales (\$)	5,000,000	4,250,000	3,612,500	3,070,000	2,610,000	2,218,527	1,888,748	1,602,885	1,362,453	1,158,085	984,372	838,718	711,209	604,527	513,848	436,771	371,255	316,567	268,232	227,987	193,788	164,728	140,018	110,018	101,184	32,780,073	
Operating expenditures (\$)	790,000	643,875	562,787	474,560	407,401	349,754	300,264	257,777	221,301	189,987	163,154	140,025	120,211	103,201	88,698	78,062	65,299	56,059	48,127	41,517	35,470	30,451	26,143	22,443	19,288	6,193,454	
MARGEN DE CONTRIBUCIÓN	4,250,000	3,606,125	3,059,713	2,595,440	2,202,600	1,888,773	1,588,484	1,345,109	1,141,151	988,098	821,288	698,693	590,998	501,326	425,250	360,709	305,967	259,508	220,105	186,680	158,327	134,277	113,876	96,573	81,896	27,576,619	
Amortization	2,727,273	2,454,545	2,181,818	1,909,091	1,636,364	1,363,636	1,090,909	818,182	545,455	272,727																15,000,000	
Law & Gov't taxes (2%)	100,000	85,000	72,250	61,413	52,201	44,371	37,715	32,058	27,249	23,162	19,887	16,734	14,224	12,091	10,277	8,735	7,425	6,311	5,386	4,590	3,876	3,296	2,800	2,380	2,023	655,201	
BAT	1,422,727	1,068,580	805,665	625,871	514,088	420,766	350,839	294,889	247,116	206,922	174,948	149,488	125,822	107,184	91,484	77,815	66,088	56,059	47,127	39,470	32,788	27,643	23,443	19,788	16,773	11,921,418	
Depreciation factor	589,091	426,532	322,268	250,229	205,626	164,306	132,744	109,948	92,379	77,948	66,088	56,088	47,188	39,488	32,788	27,643	23,443	19,788	16,773	14,018	11,921	10,118	8,618	7,318	6,218	4,788,967	
Compensation from previous years																										0	
Taxable corporation tax	853,838	639,948	483,369	375,343	308,439	254,116	211,116	174,948	145,839	121,948	103,839	88,439	75,184	63,839	54,439	46,439	39,439	33,439	28,439	24,439	20,439	17,439	14,439	12,439	10,439	7,152,851	
Corporate Tax (35%)	298,773	223,882	169,180	131,370	107,864	89,781	75,941	64,182	54,182	45,941	39,182	33,439	28,439	24,439	20,439	17,439	14,439	12,439	10,439	8,439	7,152	6,018	5,152	4,439	3,839	2,823,498	
RESULTADO DEL EJERCICIO	1,123,956	842,998	636,476	494,201	406,112	344,005	290,919	247,948	206,922	174,948	149,488	125,822	107,184	91,484	77,815	66,088	56,059	47,127	39,470	32,788	27,643	23,443	19,788	16,773	14,412	8,076	

Net cash flow	3,851,227	3,297,143	2,818,294	2,403,292	2,042,475	1,727,641	1,451,828	1,209,129	994,528	803,772	633,249	537,166	455,651	386,496	327,829	278,059	235,840	200,025	169,645	143,875	122,016	103,476	87,750	74,412	63,099	24,417,920	
Operating cash flow	4,150,000	3,521,125	2,987,453	2,534,652	2,150,429	1,824,402	1,547,769	1,313,051	1,113,602	944,936	801,581	679,957	576,773	489,236	414,973	351,874	298,531	253,187	214,741	182,120	154,451	130,962	111,076	94,162	79,873	26,821,418	
Capital expenditure (CAPEX)	-15,000,000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15,000,000	
CASH FLOW	-15,000,000	3,851,227	3,297,143	2,818,294	2,403,292	2,042,475	1,727,641	1,451,828	1,209,129	994,528	803,772	633,249	537,166	455,651	386,496	327,829	278,059	235,840	200,025	169,645	143,875	122,016	103,476	87,750	74,412	63,099	9,417,920
DISCOUNTED (\$)	3,687,835	2,990,609	2,434,648	1,977,195	1,600,333	1,289,192	1,031,787	818,388	641,082	493,448	370,247	299,114	241,641	195,207	157,691	127,362	102,896	83,115	67,134	54,225	43,797	35,373	28,959	23,073	18,633		

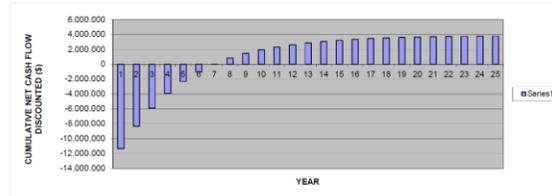
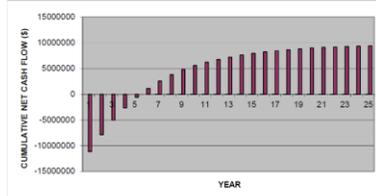
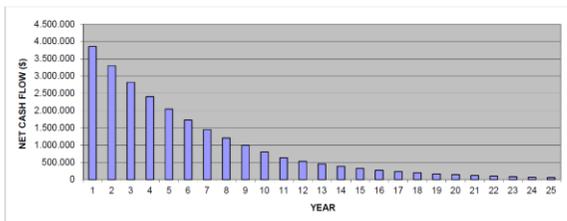
NPV 3,702,510
IRR (%) 10.38

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
CUMULATIVE CASH FLOW	-15,000,000	-11,148,773	-7,861,629	-5,033,336	-2,630,043	-587,568	1,140,073	2,591,901	3,891,030	4,795,558	5,599,331	6,232,679	6,799,748	7,228,397	7,611,890	7,939,721	8,217,781	8,453,821	8,653,648	8,823,291	8,967,168	9,089,183	9,192,659	9,280,409	9,354,425	9,417,920
CUMULATIVE CASH FLOW DISCOUNTED	-15,000,000	-11,332,165	-8,341,558	-5,907,010	-3,929,819	-2,329,483	-1,040,290	-8,503	809,883	1,450,965	1,944,411	2,314,688	2,613,773	2,855,414	3,050,621	3,208,312	3,335,694	3,438,691	3,521,705	3,588,840	3,643,065	3,688,861	3,722,236	3,750,803	3,773,876	3,792,510

PAYBACK (yr) 6.5
DISCOUNTED PAYBACK (yr) 7



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
bcf	0.5	0.425	0.36125	0.3070625	0.261003125	0.221852656	0.188574758	0.160288544	0.136245263	0.115808473	0.098437202	0.083671622	0.071120879	0.060452747	0.051384835	0.043677111	0.0371255	0.03155671	0.0268232	0.02279872	0.019379766	0.0164728	0.0140019	0.0119016	0.0101116	
MMBTU	500000	425000	361250	307062.5	261003.125	221852.656	188574.758	160288.544	136245.263	115808.473	98437.202	83671.622	71120.879	60452.747	51384.835	43677.111	37125.5	31556.711	26823.204	22798.724	19379.766	16472.801	14001.881	11901.595	10116.36	
Ingress (10E+MMBTU)	5000000	4250000	3612500	3070625	2610031.25	2218526.56	1885747.58	1602885.44	1362452.63	1158084.73	984372.02	836716.22	711208.79	604527.47	513848.35	436771.09	371255.43	315567.11	268232.04	227987.24	193797.66	164728.01	140018.81	119015.95	101163.6	
Operating cost (\$/Mc)	1.5	1.515	1.53015	1.5454515	1.56090015	1.576515075	1.592202822	1.608030228	1.624039558	1.640252709	1.656693188	1.67335252	1.690237545	1.70735921	1.72474132	1.74238809	1.76030551	1.77849066	1.79694965	1.81568868	1.83471406	1.85403218	1.87364954	1.89357264	1.91380708	1.93435944
Total operating cost (\$)	750000	643875	552796.875	474950.212	407401.347	349754.057	300263.858	257776.521	221301.142	189987.033	163103.867	140024.67	120211.792	103201.297	88596.3177	76061.8523	65298.029	56059.1302	48126.7633	41316.8263	35470.49534	30451.42	26142.544	22443.3743	19287.64	



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
PRODUCTION (bcf/yr)	0.5	0.425	0.36125	0.3070625	0.261003125	0.221852656	0.188574758	0.160288544	0.136245263	0.115808473	0.098437202	0.083671622	0.071120879	0.060452747	0.051384835	0.043677111	0.037125543	0.031556712	0.0268232	0.02279872	0.01937977	0.0164728	0.014001881	0.0119016	0.010111624

Evaluación de la sostenibilidad de la fracturación hidráulica basada en la técnica de decisión multicriterio Fuzzy-ANP

Economic evaluation of a shale gas well

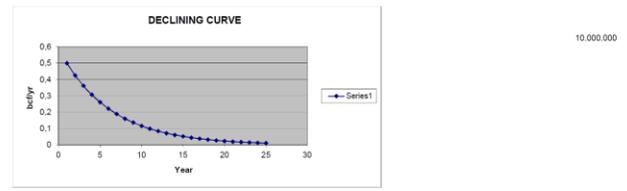
CAPEX VARIATION 4

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	TOTAL	
Sales (\$)	6,000,000	4,260,000	3,812,800	3,070,628	2,810,031	2,218,627	1,888,748	1,602,886	1,362,463	1,188,089	984,372	836,716	711,209	604,627	513,848	436,771	371,256	318,967	268,232	227,697	193,798	164,728	140,019	119,016	101,164	87,280	32,780,073	
Operating expenditures (\$)	750,000	643,878	562,787	474,650	407,451	349,754	300,284	267,777	221,301	189,887	163,104	140,025	120,211	103,201	88,998	76,062	65,299	56,069	48,127	41,317	35,470	30,451	26,143	22,443	19,288	16,758	6,183,454	
MARGEN DE CONTRIBUCION	4,250,000	3,616,122	3,250,013	2,596,078	2,202,580	1,868,773	1,588,464	1,345,109	1,141,161	998,098	821,268	696,692	590,998	501,328	425,250	360,709	305,667	258,508	225,105	188,680	158,327	134,277	113,876	98,733	81,896	68,522	27,576,619	
Amortization	1,818,182	1,836,364	1,454,545	1,272,727	1,000,909	809,091	727,273	645,455	563,636	481,818																	10,000,000	
Law 8/2017 taxes (2%)	100,000	85,000	72,250	61,413	52,201	44,371	37,715	32,058	27,249	23,162	19,887	16,734	14,224	12,091	10,277	8,735	7,425	6,311	5,365	4,560	3,876	3,295	2,800	2,380	2,023	1,718	655,201	
BAT	2,431,818	1,969,761	1,605,186	1,323,348	1,111,721	959,882	808,211	709,854	627,512	551,812	481,288	418,012	358,998	301,328	252,500	208,974	176,082	148,680	124,109	104,222	88,303	75,749	64,251	54,487	46,222	39,203	33,249	17,576,619
Depletion factor	972,727	787,905	642,075	529,339	444,688	383,873	343,284	319,862	311,006																		7,030,648	
Compensation from previous years																											0	
Taxable corporation tax	1,459,091	1,181,867	963,113	794,009	687,032	578,009	514,927	478,763	466,509	471,768	482,761	418,012	354,599	300,798	255,150	216,428	183,574	155,705	132,063	112,008	94,596	80,566	68,328	57,844	49,138	41,546	15,846,971	
Corporate Tax (35%)	616,882	413,850	337,089	277,903	233,481	201,533	180,224	167,627	163,278	165,119	172,486	148,305	124,109	105,278	89,303	75,749	64,251	54,487	46,222	39,203	33,249	28,198	23,914	20,280	17,189	14,546	3,691,000	
RESULTADO DEL EJERCICIO	1,921,139	1,556,111	1,268,098	1,048,445	878,289	758,148	677,987	631,727	614,237	621,161	648,802	650,366	666,888	696,048	735,948	784,960	841,706	905,011	973,883	1,047,478	1,125,078	1,206,079	1,291,862	1,383,623	1,482,488	1,588,529	13,885,529	

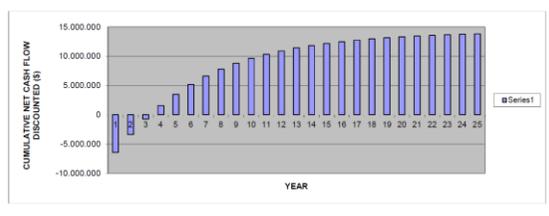
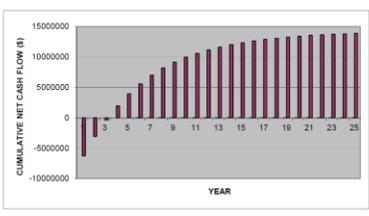
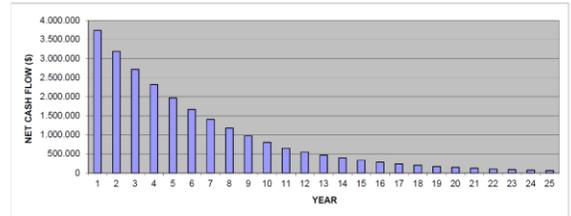
Net cash flow	3,739,318	3,192,476	2,722,844	2,318,172	1,969,189	1,667,239	1,406,269	1,177,182	977,873	802,679	648,802	500,366	466,888	396,048	335,948	284,960	241,706	205,011	173,883	147,478	125,078	106,079	89,962	76,282	64,898	23,885,529	
Operating cash flow	4,250,000	3,616,122	3,250,013	2,596,078	2,202,580	1,868,773	1,588,464	1,345,109	1,141,161	998,098	821,268	696,692	590,998	501,328	425,250	360,709	305,667	258,508	225,105	188,680	158,327	134,277	113,876	98,733	81,896	68,522	27,576,619
Capital expenditure (CAPEX)	10,000,000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10,000,000
CASH FLOW	-10,000,000	3,739,318	3,192,476	2,722,844	2,318,172	1,969,189	1,667,239	1,406,269	1,177,182	977,873	802,679	648,802	500,366	466,888	396,048	335,948	284,960	241,706	205,011	173,883	147,478	125,078	106,079	89,962	76,282	64,898	13,885,529
DISCOUNTED (5%)	3,961,255	2,895,689	2,381,922	1,907,168	1,542,896	1,244,120	998,692	796,763	630,346	492,659	379,341	306,476	247,601	200,031	161,597	130,544	105,456	85,188	68,811	55,583	44,896	36,263	29,289	23,656	19,105		

NPV **8,316,621**
IRR (%) **22.34**

CUMULATIVE CASH FLOW	-10,000,000	-6,260,682	-3,068,207	-345,563	1,972,609	3,941,778	5,609,017	7,014,276	8,191,458	9,189,331	9,972,310	10,621,112	11,171,489	11,638,386	12,034,434	12,370,382	12,655,342	12,897,048	13,102,059	13,276,942	13,423,420	13,548,488	13,654,577	13,744,539	13,820,831	13,885,529	
CUMULATIVE CASH FLOW DISCOUNTED	-10,000,000	-6,438,745	-3,365,013	-716,285	1,561,603	3,515,504	5,165,897	6,607,709	7,811,039	8,821,804	9,662,291	10,351,651	10,927,588	11,419,099	11,838,417	12,196,031	12,500,925	12,760,797	12,982,234	13,170,870	13,331,525	13,468,316	13,584,761	13,683,866	13,768,195	13,839,937	
PAYBACK (yr)																											
DISCOUNTED PAYBACK (yr)																											



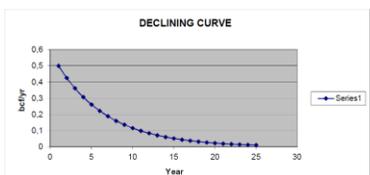
INCOME SALES (\$)																												
bcf	0.5	0.425	0.36125	0.3070625	0.261003125	0.221852656	0.188574758	0.160288544	0.136245263	0.115806473	0.098437202	0.083671622	0.071120879	0.060452747	0.051384635	0.043677111	0.037125543	0.031556711	0.0268232	0.0227997	0.0193797	0.0164728	0.0140019	0.011901599	0.0101116			
MMBTU	500000	425000	361250	307062.5	261003.125	221852.656	188574.758	160288.544	136245.2625	115806.4731	98437.20217	83671.62184	71120.87857	60452.74678	51384.63477	43677.10955	37125.54312	31556.71117	26823.205	22799.724	19379.7655	16472.8007	14001.881	11901.59851	10116.36			
Increases (10\$MMBTU)	5000000	4250000	3612500	3070625	2610031.25	2218526.56	1885747.58	1602885.44	1362452.625	1158064.731	984372.0217	836716.2184	711208.7857	604527.4678	513846.3477	436771.0955	371255.4312	315567.1117	268232.05	227997.24	193797.655	164728.007	140018.81	119015.9851	101163.6			
Operating cost (\$/Mcf)	1.6	1.515	1.33015	1.1454515	1.05990015	0.917615075	0.79226025	0.684260568	0.592260258	0.50527909	0.430231818	0.370231818	0.315231818	0.265231818	0.220231818	0.180231818	0.145231818	0.115231818	0.090231818	0.070231818	0.055231818	0.045231818	0.035231818	0.025231818	0.015231818	0.005231818		
Total operating cost (\$)	750000	643875	552766.6875	474550.2012	407401.3477	349754.057	300283.858	257776.5221	221301.1442	189897.0323	163103.8672	140024.67	120211.1792	103201.2973	88998.31377	76061.65237	65298.92856	56059.1302	48126.763	41316.826	35470.4953	30451.4202	26142.544	22443.7327	19267.64			



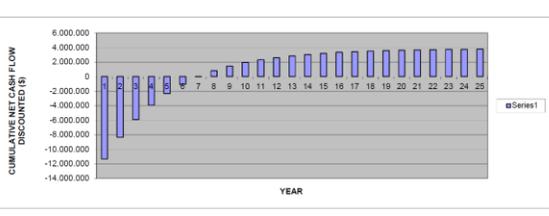
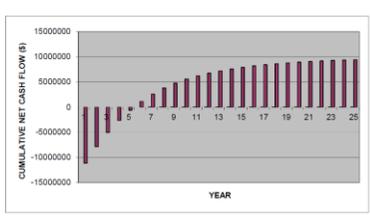
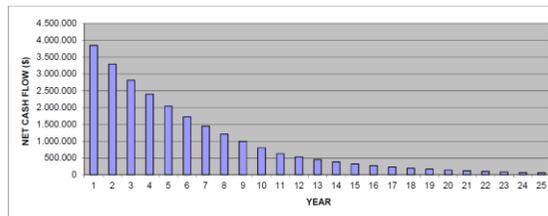
PRODUCTION (bcf/yr)																											
	0.5	0.425	0.36125	0.3070625	0.261003125	0.221852656	0.188574758	0.160288544	0.136245263	0.115806473	0.098437202	0.083671622	0.071120879	0.060452747	0.051384635	0.043677111	0.037125543	0.031556711	0.026823205	0.022799724	0.019379765	0.016472801	0.014001899	0.011901599	0.010111636		
CASH FLOW																											
	-10,000,000	3,739,318	3,192,476	2,722,844	2,318,172	1,969,189	1,667,239	1,406,269	1,177,182	977,873	802,679	648,802	500,366	466,888	396,048	335,948	284,960	241,706	205,011	173,883	147,478	125,078	106,079	89,962	76,282	64,898	
CUMULATIVE CASH FLOW DISCOUNTED																											
	-10,000,000	-6,438,745	-3,365,013	-716,285	1,561,603	3,515,504	5,165,897	6,607,709	7,811,039	8,821,804	9,662,291	10,351,651	10,927,588	11,419,099	11,838,417	12,196,031	12,500,925	12,760,797	12,982,234	13,170,870	13,331,525	13,468,316	13,584,761	13,683,866	13,768,195	13,839,937	

Economic evaluation of a shale gas well

	GAS VARIATION 1																									TOTAL		
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25		
Sales (\$)	5,000,000	4,250,000	3,812,500	3,070,000	2,810,001	2,218,007	1,888,748	1,802,888	1,362,463	1,158,088	984,372	830,316	711,209	604,827	513,848	438,771	371,255	315,587	268,232	227,987	193,788	164,728	140,019	119,016	101,164	82,760	32,780,073	
Operating expenditures (\$)	750,000	643,875	562,797	474,560	407,401	349,764	300,284	257,777	221,301	189,687	163,104	140,025	120,211	103,201	88,598	76,062	65,299	56,069	48,127	41,317	36,470	30,461	26,143	22,443	19,288	16,000,000		
MARGEN DE CONTRIBUCION	4,250,000	3,606,125	3,059,703	2,595,440	2,202,600	1,868,243	1,588,464	1,345,109	1,141,162	968,098	821,288	696,692	590,998	501,626	425,250	360,709	305,967	259,508	220,105	186,680	158,327	134,277	113,876	96,873	81,886	15,000,000		
Amortization	2,727,273	2,454,545	2,181,818	1,909,091	1,636,364	1,363,636	1,090,909	818,182	545,455	272,727																		
Law 9/2017 taxes (2%)	100,000	85,000	72,250	61,413	52,201	44,371	37,715	32,068	27,249	23,162	19,887	16,734	14,224	12,091	10,277	8,735	7,425	6,311	5,366	4,560	3,876	3,296	2,800	2,380	2,023	655,201		
BAT	1,422,727	1,066,580	805,865	625,617	514,068	440,766	384,050	331,890	284,913	243,269	206,861	175,957	149,773	128,400	111,473	96,974	84,127	73,172	63,307	54,362	46,451	39,540	33,630	28,720	24,810	11,921,418		
Depletion factor	669,091	429,632	322,266	250,229	205,620	164,306	132,744	107,948	87,969	72,813	60,761	50,634	42,177	35,163	29,309	24,424	20,353	17,065	14,516	12,441	10,619	9,091	7,817	6,743	5,849	2,560,488		
Compensation from previous years																										0		
Taxable corporation tax	853,836	639,948	483,399	376,343	308,439	254,459	214,116	180,922	151,099	126,325	105,488	89,074	75,064	63,241	53,284	45,114	38,561	33,311	28,844	24,972	21,671	18,889	16,566	14,516	12,724	7,152,851		
Corporate Tax (25%)	263,773	223,982	169,190	131,070	107,864	86,761	69,541	55,230	43,774	34,184	26,632	20,766	15,769	12,112	9,278	7,144	5,596	4,366	3,426	2,746	2,216	1,806	1,488	1,244	1,064	2,604,488		
RESULTADO DEL EJERCICIO	1,123,956	842,598	636,475	494,201	406,112	348,005	300,947	260,074	220,105	186,861	158,224	134,923	116,229	101,405	87,466	75,192	64,756	55,836	48,330	42,015	36,865	32,744	29,628	26,503	23,759	9,417,620		
Net cash flow	3,851,227	3,297,143	2,818,294	2,403,262	2,042,478	1,727,641	1,451,829	1,209,129	994,628	833,772	693,249	587,166	495,651	418,496	357,629	307,659	266,599	235,840	200,020	169,645	143,875	122,016	103,476	87,750	74,412	63,099	24,417,620	
Operating cash flow	4,160,000	3,621,125	3,087,483	2,534,662	2,150,409	1,824,402	1,547,768	1,313,091	1,113,902	944,698	801,951	679,867	579,773	499,236	418,973	351,974	298,931	253,197	214,741	183,120	154,461	130,962	111,076	94,192	79,873	28,921,418		
Capital expenditure (CAPEX)	15,000,000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
CASH FLOW	-15,000,000	3,851,227	3,297,143	2,818,294	2,403,262	2,042,478	1,727,641	1,451,829	1,209,129	994,628	833,772	693,249	587,166	495,651	418,496	357,629	307,659	266,599	235,840	200,020	169,645	143,875	122,016	103,476	87,750	74,412	63,099	9,417,620
DISCOUNTED (5%)	3,667,836	3,060,806	2,424,548	1,977,196	1,650,333	1,389,162	1,131,767	918,369	741,062	603,468	493,347	408,114	336,941	281,691	237,362	200,988	170,815	145,225	123,977	106,373	91,669	79,412	69,283	60,375	52,669	18,633		
NPV	3,762,510																											
IRR (%)	10.38																											
CUMULATIVE CASH FLOW	-15,000,000	-11,148,773	-7,851,629	-5,033,338	-2,830,043	-887,568	1,140,073	2,591,901	3,801,030	4,796,558	5,589,331	6,232,879	6,769,748	7,228,397	7,611,893	7,930,721	8,217,781	8,453,821	8,653,948	8,823,291	8,967,166	9,089,183	9,192,659	9,280,409	9,354,820	9,417,620		
CUMULATIVE CASH FLOW DISCOUNTED	-15,000,000	-11,332,165	-8,341,888	-6,070,010	-4,329,816	-2,928,483	-1,040,290	8,503	809,893	1,450,965	2,144,411	2,914,868	3,761,733	4,685,414	5,690,621	6,770,312	7,918,684	9,131,599	10,414,971	11,754,806	13,159,621	14,624,826	16,147,801	17,724,826	19,354,401	21,034,426	22,761,626	
PAYBACK (yr)	5.5																											
DISCOUNTED PAYBACK (yr)	7																											



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
bcf	0.5	0.425	0.36125	0.3070625	0.261003125	0.221852656	0.188574758	0.160288544	0.136245263	0.115808473	0.098437202	0.083671622	0.071120879	0.060452747	0.051384835	0.043677111	0.0371255	0.0315567	0.0268232	0.02279972	0.0193798	0.016472801	0.0140019	0.0119016	0.0101636
NMBTU	500000	425000	361250	307062	261003	221853	188575	160288	136245	115808	98437	83672	71121	60483	51385	43677	37126	31557	26823	22799	19379	16472	14019	11902	10164
Ingresos (105 MMBTU)	5000000	4250000	3612500	3070625	2610031	2218526	1885748	1602885	1362453	1158085	984372	836716	711209	604827	513848	436771	371255	315587	268232	227997	193788	164728	140181	119016	101636
Operating cost (\$/Mcf)	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Total operating cost (\$)	750000	638750	552768	474550	407401	349758	300283	257776	221301	189687	163104	140025	120211	103201	88598	76062	65299	56069	48127	41317	36470	30461	26143	22443	19288

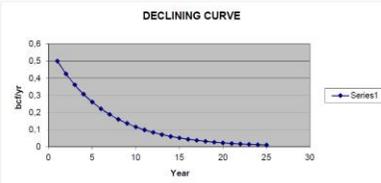


PRODUCTION (bcf/yr)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
	0.5	0.425	0.36125	0.3070625	0.261003125	0.221852656	0.188574758	0.160288544	0.136245263	0.115808473	0.098437202	0.083671622	0.071120879	0.060452747	0.051384835	0.043677111	0.037125543	0.0315567	0.0268232	0.02279972	0.01937977	0.0164728	0.014001881	0.0119016	0.0101636

Evaluación de la sostenibilidad de la fracturación hidráulica basada en la técnica de decisión multicriterio Fuzzy-ANP

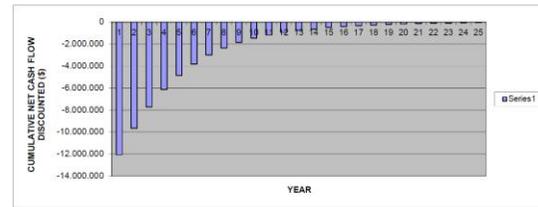
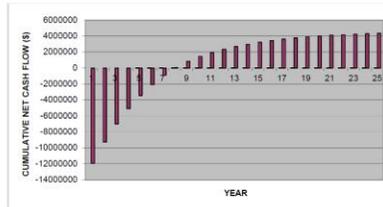
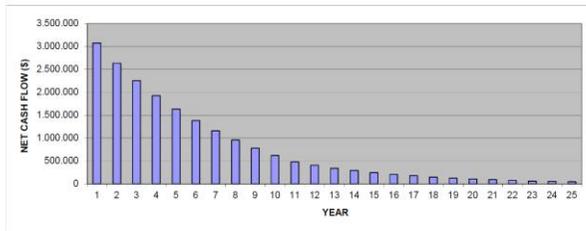
Economic evaluation of a shale gas well

	GAS VARIATION 2																										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	TOTAL
Sales (\$)	4.000.000	3.400.000	2.800.000	2.456.500	2.088.025	1.774.821	1.508.568	1.282.308	1.089.962	926.488	787.488	669.373	568.967	483.822	411.079	349.417	297.004	252.454	214.568	182.398	155.038	131.782	112.016	96.213	80.931	28.208.058	
Operating expenditures (\$)	750.000	643.875	552.767	474.550	407.401	349.754	300.264	257.777	221.301	189.987	163.104	140.025	120.211	103.201	88.598	76.062	65.299	56.059	48.127	41.317	35.470	30.451	26.143	22.443	19.268	5.183.454	
MARGEN DE CONTRIBUCIÓN	3.250.000	2.756.125	2.337.233	1.981.950	1.680.624	1.425.067	1.208.334	1.024.532	868.661	736.481	624.394	529.348	448.756	380.421	322.480	273.355	231.705	196.395	166.459	141.081	119.568	101.331	86.873	72.769	61.663	21.024.604	
Amortization	2.727.273	2.454.545	2.181.918	1.909.091	1.636.364	1.363.536	1.090.709	818.182	545.455	272.727																15.000.000	
Law 8/2017 taxes (2%)	80.000	68.000	57.800	48.130	41.761	35.496	30.172	25.846	21.799	18.529	15.760	13.387	11.379	9.672	8.222	6.988	5.940	5.049	4.292	3.648	3.101	2.636	2.240	1.904	1.619	524.161	
BAT	442.727	233.580	97.615	23.728	2.500	25.934	87.253	180.703.85	301.407.17	445.224.12	608.844	515.961	437.377	370.748	314.259	286.367	235.765	191.345	162.167	137.433	116.467	98.866	83.632	70.865	60.045	5.500.443	
Depletion factor	177.091	93.432	39.046	9.492	1.000	10.374	34.901	72.292	120.563	178.000	243.458	206.364	174.951	148.299	125.704	106.547	90.306	76.538	64.987	54.973	46.587	39.478	33.453	28.346	24.018	2.200.177	
Compensation from previous years																										0	
Taxable corporation tax	285.636	140.148	58.589	14.237	1.500	15.991	52.352	108.422	180.844	267.134	385.186	309.577	262.426	222.449	188.555	159.820	135.459	114.807	97.300	82.480	69.880	59.217	50.179	42.519	36.027	3.300.268	
Corporate Tax (35%)	92.973	49.052	20.489	4.983	528	5.446	18.323	37.948	63.296	93.497	127.815	108.352	91.849	77.857	65.994	55.937	47.411	40.183	34.085	29.861	24.488	20.729	17.563	14.882	12.809	1.195.093	
RESULTADO DEL EJERCICIO	349.755	184.528	77.116	18.746	1.975	20.488	68.930	142.759	238.112	351.727	480.929	407.609	345.527	292.891	248.264	210.430	178.355	151.163	128.112	108.572	92.009	77.969	68.069	55.983	47.435	4.345.350	
Net cash flow	3.077.027	2.639.073	2.258.934	1.927.837	1.638.338	1.384.125	1.159.839	960.938	783.566	624.454	480.829	407.609	345.527	292.891	248.264	210.430	178.355	151.163	128.112	108.572	92.009	77.969	68.069	55.983	47.435	19.345.350	
Operating cash flow	3.170.000	2.688.125	2.279.433	1.932.820	1.638.883	1.389.671	1.178.162	998.886	846.862	717.951	608.644	515.961	437.377	370.748	314.259	286.367	235.765	191.345	162.167	137.433	116.467	98.866	83.632	70.865	60.045	20.600.443	
Capital expenditure (CAPEX)	15.000.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15.000.000	
CASH FLOW	-15.000.000	3.077.027	2.639.073	2.258.934	1.927.837	1.638.338	1.384.125	1.159.839	960.938	783.566	624.454	480.829	407.609	345.527	292.891	248.264	210.430	178.355	151.163	128.112	108.572	92.009	77.969	68.069	55.983	47.435	4.345.350
DISCOUNTED (5%)	2.630.502	2.393.717	1.851.352	1.866.036	1.293.881	1.032.855	824.276	650.401	505.064	393.361	281.131	226.972	183.241	147.930	119.419	96.400	77.816	62.811	50.698	40.920	33.026	28.654	21.510	17.359	14.008		
NPV																											
IRR (%)																											
CUMULATIVE CASH FLOW	-15.000.000	-11.922.973	-9.283.899	-7.024.965	-5.097.129	-3.456.790	-2.074.666	-914.827	46.111	829.677	1.454.132	1.934.960	2.342.569	2.688.097	2.980.988	3.229.252	3.439.602	3.619.037	3.769.200	3.897.312	4.005.884	4.097.893	4.178.862	4.241.931	4.297.916	4.345.350	
CUMULATIVE CASH FLOW DISCOUNTED	-15.000.000	-12.069.498	-9.676.781	-7.724.428	-6.138.392	-4.854.711	-3.821.856	-2.997.560	-2.347.180	-1.942.088	-1.468.728	-1.177.596	-950.823	-767.382	-619.452	-500.033	-403.652	-325.617	-263.006	-212.307	-171.388	-138.362	-111.708	-80.198	-49.239	-28.831	
PAYBACK (yr)																											
DISCOUNTED PAYBACK (yr)																											



INCOME SALES (\$)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
bbl	0.5	0.425	0.36125	0.3070625	0.261003125	0.221852656	0.188574758	0.160288544	0.136245263	0.115808473	0.098437202	0.083671622	0.071120879	0.060452747	0.051384835	0.04367711	0.0371255	0.0315567	0.0268232	0.0227997	0.0193768	0.0164728	0.0140019	0.0119016	0.010116	3.276007
MMBTU	500000	425000	361250	307062.5	261003.125	221852.656	188574.758	160288.544	136245.2625	115808.4731	98437.20217	83671.62184	71120.87857	60452.74678	51384.83477	43677.10955	37125.543	31556.712	26823.205	22799.724	19379.766	16472.801	14001.881	11901.569	10116.36	
Ingreso (\$/MMBTU)	4000000	3400000	2900000	2486500	2086025	1774812.5	1508598.083	1282308.353	1089862.11	926671.7851	787497.6174	669372.9748	568971.0285	483621.9743	411078.8781	346146.8764	297004.34	252453.69	214568.64	182397.79	155038.12	131782.41	112015.04	95212.789	80080.87	
Operating cost (\$/Mcf)	1.5	1.515	1.53015	1.5454615	1.56096015	1.576515075	1.59220226	1.608203028	1.624495058	1.640527909	1.656393188	1.67305252	1.69027545	1.70713921	1.724211372	1.741453433	1.75886	1.7764566	1.7942212	1.8121684	1.8303951	1.8485979	1.8670758	1.8857445	1.904602	
Total sales cost (\$)	750000	643875	552766.875	474500.2012	407401.3477	349754.057	300283.858	257776.5221	221301.1442	189987.0323	163103.8872	140024.67	120211.1792	103201.2973	88596.15277	76061.8377	65298.929	56059.13	48126.763	41316.828	35470.495	30451.42	26142.544	22443.74	19267.64	



PRODUCTION (bbl/yr)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Production (bbl/yr)	0.5	0.425	0.36125	0.3070625	0.261003125	0.221852656	0.188574758	0.160288544	0.136245263	0.115808473	0.098437202	0.083671622	0.071120879	0.060452747	0.051384835	0.04367711	0.037125543	0.031556712	0.026823205	0.022799724	0.019376801	0.016472801	0.014001901	0.011901601	0.010116001

Economic evaluation of a shale gas well

GAS VARIATION 3

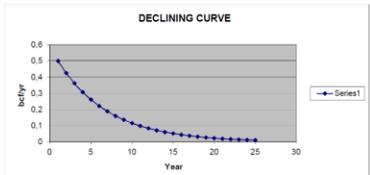
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	TOTAL
Sales (\$)	3.000.000	2.850.000	2.167.000	1.842.376	1.566.019	1.331.116	1.131.449	961.731	817.472	694.851	590.623	502.000	426.726	362.716	306.309	262.063	222.793	189.340	160.939	136.798	116.279	98.837	84.011	71.410	60.998	19.660.044	
Operating expenditures (\$)	750.000	843.875	552.787	474.550	407.401	349.754	300.284	257.777	221.301	189.987	163.104	140.025	120.211	103.201	88.598	76.062	65.299	56.059	48.127	41.317	35.470	30.451	26.143	22.443	19.288	5.183.454	
MARGEN DE CONTRIBUCION	2.250.000	1.906.125	1.614.213	1.367.826	1.158.618	981.362	831.165	703.955	596.171	504.864	427.519	362.005	306.514	259.515	218.711	186.001	167.484	133.281	112.812	95.462	80.808	68.385	57.869	48.966	41.431	14.472.590	
Amortization	2.727.273	2.454.545	2.181.818	1.909.091	1.596.364	1.383.638	1.200.909	1.046.162	905.455	772.727																15.000.000	
Lev 8/2017 Taxes (2%)	60.000	51.000	43.350	36.848	31.320	26.622	22.629	19.235	16.349	13.887	11.812	10.041	8.635	7.264	6.169	5.241	4.465	3.787	3.219	2.738	2.326	1.977	1.680	1.428	1.214	393.121	
BIAT	457.273	399.420	316.435	276.114	230.287	193.097	162.353	133.461	111.345	93.126	78.266	65.170	54.579	45.244	37.424	30.834	25.824	21.384	17.514	14.204	11.424	9.274	7.624	6.324	5.274	1.362.121	
Deviation factor	-214.909	-239.769	-244.174	-231.245	-203.627	-163.559	-112.941	-63.355	13.747	87.296	166.283	140.786	119.192	100.604	85.418	72.304	61.200	51.798	43.837	37.098	31.393	26.563	22.475	19.015	16.287	369.121	
Compensation from previous years																											
Tangible corporation tax	-322.384	-359.652	-388.261	-346.868	-305.440	-245.338	-169.412	-80.077	6.573	43.648	83.141	70.363	55.598	40.462	32.709	26.162	20.800	16.599	13.419	10.278	7.998	6.169	4.788	3.628	2.738	1.977	1.096.396
Corporate Tax (35%)																											1.647.714
RESULTADO DEL EJERCICIO	-537.273	-599.420	-610.435	-576.114	-609.087	-608.897	-582.353	-533.462	-463.466	-386.607	-327.327	-277.121	-234.603	-198.598	-168.107	-142.289	-120.430	-101.922	-82.746	-68.469	-56.189	-47.538	-40.217	-33.916	-28.516	-1.085.515	

Net cash flow	2.190.000	1.856.125	1.571.383	1.330.977	1.127.287	954.740	808.556	684.720	577.415	476.660	396.607	327.327	277.121	234.603	198.598	168.107	142.289	120.430	101.922	82.746	78.463	66.409	56.189	47.538	40.217	13.914.488	
Operating cash flow	2.190.000	1.856.125	1.571.383	1.330.977	1.127.287	954.740	808.556	684.720	577.415	476.660	396.607	327.327	277.121	234.603	198.598	168.107	142.289	120.430	101.922	82.746	78.463	66.409	56.189	47.538	40.217	14.079.469	
Capital expenditure (CAPEX)	15.000.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15.000.000	
CASH FLOW	-13.810.000	2.190.000	1.856.125	1.571.383	1.330.977	1.127.287	954.740	808.556	684.720	577.415	476.660	396.607	327.327	277.121	234.603	198.598	168.107	142.289	120.430	101.922	82.746	78.463	66.409	56.189	47.538	40.217	-1.085.515
DISCOUNTED (5%)	2.065.714	1.882.653	1.357.420	1.094.998	883.287	712.441	574.625	463.446	372.207	292.032	226.041	182.268	146.963	118.490	95.528	77.012	62.080	50.041	40.334	34.955	28.171	22.702	18.293	14.740	11.876		

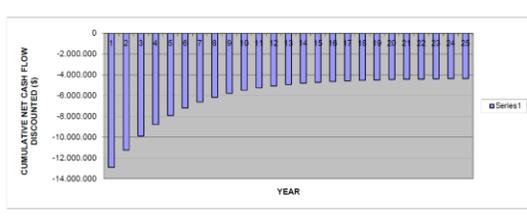
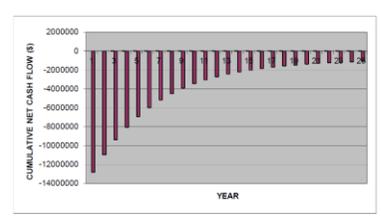
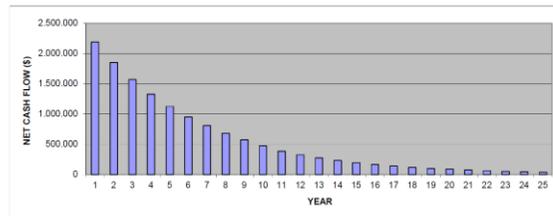
NPV -4.351.701
IRR (%) -1,20

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
CUMULATIVE CASH FLOW	-13.810.000	-11.620.000	-9.763.875	-8.192.492	-6.861.515	-5.634.228	-4.502.588	-3.464.868	-2.517.453	-1.660.846	-894.239	-17.632	117.695	292.316	466.919	641.517	816.115	990.713	1.165.311	1.339.909	1.514.507	1.689.105	1.863.703	2.038.301	2.212.899	2.387.497	2.562.095
CUMULATIVE CASH FLOW DISCOUNTED	-15.000.000	-12.814.286	-11.231.033	-9.874.213	-8.779.214	-7.866.948	-7.103.509	-6.568.881	-6.144.435	-5.773.228	-5.441.199	-5.146.154	-4.872.887	-4.628.923	-4.403.433	-4.194.860	-4.002.912	-3.827.272	-3.666.648	-3.519.649	-3.385.886	-3.263.981	-3.153.336	-3.053.461	-2.963.966	-2.884.351	-2.814.126

PAYBACK (yr) >25
DISCOUNTED PAYBACK (yr) >25



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
bcf	0.5	0.425	0.36125	0.3070625	0.261003125	0.221852656	0.188574758	0.160288544	0.136245263	0.115898473	0.098437202	0.083671622	0.071120879	0.060452747	0.051384835	0.043677111	0.0371255	0.0315567	0.0268232	0.02279972	0.0193798	0.0164728	0.01400188	0.0119016	0.010116	3.276007
MMBTU	500000	425000	361250	307062.5	261003.125	221852.656	188574.758	160288.544	136245.2625	115898.4731	98437.20217	83671.62194	71120.87957	60452.74678	51384.83477	43677.10955	37125.543	31556.712	26823.205	22799.7242	19379.766	16472.801	14001.8806	11901.599	10116.36	
Increase (6\$/MMBTU)	3000000	2500000	2167500	1842375	1566018.75	133115.938	113448.547	961731.2648	817471.5761	694950.8388	590623.213	502028.7311	430725.2714	36778.4607	309309.0096	262952.6573	222763.26	189340.27	160399.25	136796.345	116276.59	99836.924	84011.2936	71405.561	60968.15	
Operating cost (\$/McF)	1.5	1.515	1.53015	1.5454515	1.56090615	1.576515075	1.592280226	1.608203028	1.624285058	1.640527909	1.656933188	1.67350252	1.690237545	1.707139621	1.72421132	1.741453433	1.75886	1.7764566	1.7942212	1.81216343	1.8302851	1.8485879	1.8670739	1.8857445	1.9046082	
Total cost (\$/McF)	750000	643875	552766.875	474950.2012	407401.3477	346794.057	300263.858	257776.5221	221301.1442	189987.0323	163103.8672	140024.6	120211.792	103201.293	88954.31377	76061.6237	65296.029	56099.519	48126.763	4116.6263	35470.495	30451.42	26142.5443	22443.74	19267.84	



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
PRODUCTION (bcf/yr)	0.5	0.425	0.36125	0.3070625	0.261003125	0.221852656	0.188574758	0.160288544	0.136245263	0.115898473	0.098437202	0.083671622	0.071120879	0.060452747	0.051384835	0.043677111	0.037125543	0.031556712	0.0268232	0.02279972	0.0193798	0.0164728	0.01400188	0.0119016	0.01011636

Evaluación de la sostenibilidad de la fracturación hidráulica basada en la técnica de decisión multicriterio Fuzzy-ANP

Economic evaluation of a shale gas well

GAS VARIATION 4

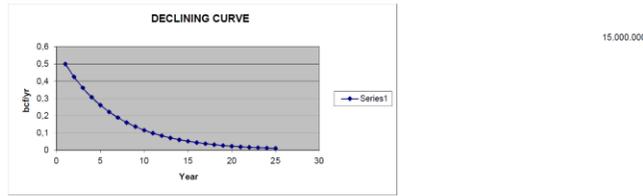
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	TOTAL
Sales (\$)	5.600.000	4.676.000	3.973.750	3.377.688	2.871.034	2.440.379	2.074.322	1.763.174	1.488.698	1.273.893	1.082.809	920.388	782.300	684.690	586.233	480.448	408.381	347.124	295.066	250.797	213.177	181.201	154.021	130.919	111.290		38.038.080
Operating expenditures (\$)	750.000	643.976	552.767	474.550	407.401	349.764	300.264	257.777	221.301	189.867	163.104	140.025	120.211	103.201	88.598	76.062	65.299	56.059	48.127	41.317	35.470	30.461	26.143	22.443	19.288		5.183.464
MARGEN DE CONTRIBUCION	4.750.000	4.031.125	3.420.983	2.903.137	2.463.633	2.090.615	1.774.058	1.505.397	1.277.397	1.083.908	919.705	780.363	662.118	561.779	478.636	404.387	343.082	291.065	248.928	209.480	177.707	150.749	127.878	108.474	92.012		30.852.628
Amortization	2.727.273	2.454.545	2.181.818	1.908.091	1.634.364	1.360.636	1.086.909	813.182	545.455	272.727																	15.000.000
Law 82017 taxes (2%)	110.000	93.500	79.475	67.554	57.421	48.808	41.498	35.293	29.874	25.478	21.656	18.408	15.647	13.300	11.305	9.609	8.168	6.942	5.901	5.016	4.264	3.624	3.080	2.618	2.228		720.722
BAT	1.912.727	1.483.080	1.159.890	926.493	769.849	678.181	641.983	651.952.17	701.988.24	898.049	761.955	646.472	548.479	465.330	394.778	334.914	284.122	241.027	204.484	173.443	147.125	124.798	105.856	89.787			15.131.905
Depletion factor	786.091	593.232	483.876	370.997	307.939	271.272	256.665	260.781	280.787	314.280	359.220	304.782	258.589	219.392	186.132	157.911	133.966	113.649	96.411	81.786	69.377	58.850	49.919	42.342	36.915		6.052.762
Compensation from previous years																											0
Taxable corporation tax	1.147.636	889.848	698.914	556.896	461.909	408.908	384.998	391.171	421.181	471.421	538.830	457.173	387.883	329.088	278.198	236.867	200.949	170.473	144.616	122.679	104.066	88.275	74.879	63.514	53.872		9.079.143
Corporate Tax (35%)	401.673	311.447	243.535	194.563	161.668	142.418	134.749	136.910	147.413	164.997	188.590	160.011	136.759	115.161	97.719	82.903	70.332	59.666	50.616	42.937	36.423	30.866	26.208	22.230	18.865		3.177.700
RESULTADO DEL EJERCICIO	1.811.956	1.171.833	916.165	731.929	608.180	535.763	508.914	516.042	554.655	620.704	709.469	801.945	810.713	833.269	867.611	911.874	944.662	974.457	1003.412	1032.020	1060.629	1089.237	1117.846	1146.455	1175.064		11.654.205

Net cash flow	4.238.327	3.626.178	3.097.973	2.641.020	2.244.544	1.899.400	1.597.823	1.333.224	1.100.009	893.431	709.459	601.945	510.713	433.299	367.611	311.874	264.582	224.457	190.412	161.527	137.020	116.229	98.590	83.626	70.932		26.654.205
Operating cash flow	4.840.000	3.937.825	3.341.508	2.836.584	2.406.212	2.041.818	1.732.572	1.470.134	1.247.423	1.058.428	898.049	761.955	646.472	548.479	465.330	394.778	334.914	284.122	241.027	204.484	173.443	147.125	124.798	105.856	89.787		30.131.905
Capital expenditure (CAPEX)	15.000.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		15.000.000	
CASH FLOW	4.238.327	3.626.178	3.097.973	2.641.020	2.244.544	1.899.400	1.597.823	1.333.224	1.100.009	893.431	709.459	601.945	510.713	433.299	367.611	311.874	264.582	224.457	190.412	161.527	137.020	116.229	98.590	83.626	70.932		11.654.205
DISCOUNTED (5%)	4.036.502	3.289.051	2.676.146	2.172.774	1.768.659	1.417.361	1.136.543	902.379	709.076	548.489	414.806	335.165	270.842	218.845	176.627	142.873	116.436	93.266	75.352	60.878	49.182	39.733	32.068	25.930	20.846		

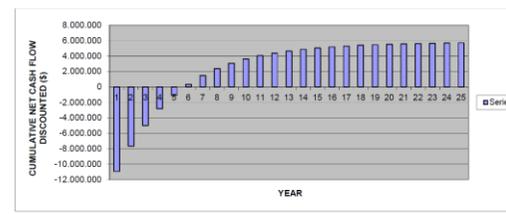
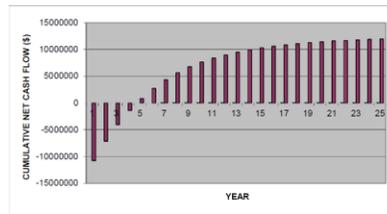
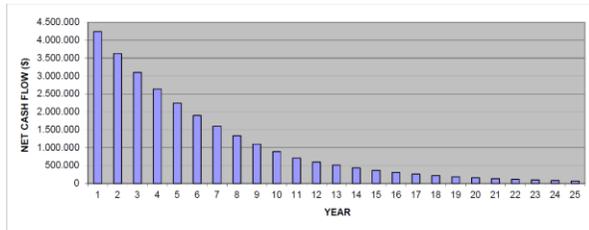
NPV 5.718.180
IRR (%) 13.08

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
CUMULATIVE CASH FLOW	-15.000.000	-10.761.673	-7.135.494	-4.037.521	-1.386.501	848.043	2.747.443	4.345.266	5.678.490	6.778.499	7.671.930	8.381.389	8.983.334	9.494.046	9.927.345	10.294.956	10.606.830	10.871.413	11.095.869	11.288.281	11.447.808	11.584.828	11.701.057	11.799.647	11.883.273	11.954.205
CUMULATIVE CASH FLOW DISCOUNTED	-15.000.000	-10.963.498	-7.674.447	-4.998.301	-2.825.528	-1.066.869	350.493	1.486.035	2.388.414	3.097.490	3.648.979	4.060.785	4.395.970	4.666.812	4.886.658	5.062.485	5.205.368	5.320.794	5.414.061	5.489.413	5.550.291	5.609.473	5.659.206	5.697.304	5.718.180	

PAYBACK (yr) 4.5
DISCOUNTED PAYBACK (yr) 6.5



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
bcf	0.5	0.425	0.36125	0.3070625	0.261003125	0.221852656	0.188574758	0.160288544	0.136245263	0.115808473	0.098437202	0.083671622	0.071120879	0.060452747	0.051384835	0.043677111	0.037125543	0.03155712	0.0268232	0.0228	0.01938	0.016473	0.014002	0.011902	0.010116
MMBTU	500000	425000	361250	307062.5	261003.125	221852.656	188574.758	160288.544	136245.263	115808.473	98437.2021	83671.62164	71120.87857	60452.74678	51384.83477	43677.10955	37125.543	31556.71	26823.2	22799.72	19379.77	16472.8	14001.88	11901.6	10116.36
Ingresos (11\$/MMBTU)	5000000	4875000	3973750	3377687.5	2871034.375	2440379.219	2074322.336	1783173.986	1498987.888	1273890.205	1092806.224	920387.8403	782329.6642	664980.2146	565233.1824	480448.2051	408380.97	347123.9	295055.3	250797	213177.4	181200.8	154020.7	130917.9	111279.9
Operating cost (\$/bcf)	1.5	1.515	1.53015	1.5454515	1.560909015	1.576515075	1.592282226	1.608203028	1.624280558	1.640527909	1.656933188	1.67350252	1.690237945	1.707139921	1.72421132	1.741453423	1.758868	1.776457	1.794221	1.812163	1.830285	1.848588	1.867074	1.885745	1.904602
Total operating cost (\$)	750000	643875	552766.8975	474550.2012	407401.3477	349754.057	300263.858	257776.5221	221301.1442	189897.0323	163103.8672	140024.86	120211.1792	103201.2173	88598.3177	76061.65237	65298.929	56059.13	48126.76	41316.83	35470.5	30451.42	26142.54	22443.37	19267.84



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
PRODUCTION (bcf/yr)	0.5	0.425	0.36125	0.3070625	0.261003125	0.221852656	0.188574758	0.160288544	0.136245263	0.115808473	0.098437202	0.083671622	0.071120879	0.060452747	0.051384835	0.043677111	0.037125543	0.03155712	0.0268232	0.0228	0.01938	0.016473	0.014002	0.011902	0.010116

