

ÍNDICE DE MADUREZ EXPLORATORIA EN CUENCAS PRODUCTORAS DE HIDROCARBUROS CONVENCIONALES

Carlos A. Mombrú¹

1: camonbru@yahoo.com

Palabras clave: Valuación, Madurez, Favorabilidad, Lógica Difusa

ABSTRACT

Using principles of fuzzy logic, some procedures are suggested to weight the maturity of geological environments of a hydrocarbon producing basin. The purpose is to generate an index of favorability for new investments in conventional exploration.

The reasoning applied involves the following concepts: Consider the implicit subjectivity when assigning a certain degree of maturity to an entire basin or an environment of it. It uses more flexible linguistic variables than statistics to characterize ambiguous concepts of geology and other areas involved. Incorporates a wide number of variables. It allows grouping results of different valuations.

INTRODUCCIÓN

Ya sea a nivel de una compañía o bien de organismos estatales encargados de supervisar el horizonte de nuevas reservas a incorporar para el abastecimiento doméstico de hidrocarburos, siempre se plantea la necesidad de valorar el potencial remanente de las cuencas productivas con miras a diseñar planes de nuevas inversiones en exploración convencional. Con este propósito, se recurre a la opinión de expertos en cada una de ellas para establecer el grado de madurez exploratoria que se le debe asignar a las áreas consideradas.

La disminución del número de descubrimientos a lo largo del tiempo, junto a similar comportamiento en el tamaño de las reservas encontradas, es un criterio que se utiliza habitualmente para afirmar que una cuenca productiva se encuentra en una fase de madurez exploratoria. Esta tendencia, sin embargo, puede obedecer a diferentes causas.

Por ejemplo, una idea dominante sobre el tipo de prospecto que ha sido exitoso a través de los años lleva a su agotamiento y es una de las causas principales para asumir que ya no queda demasiado por descubrir. Se ha probado muchas veces, sin embargo, que nuevas ideas sobre diferentes conceptos de entrapamiento han cambiado la percepción de los exploradores sobre el mismo ambiente geológico.

El grado de madurez tiene que ver también con las expectativas del inversor. Proyectos con

reservas estimadas por debajo de un cierto umbral pueden no ser interesantes para las grandes compañías, pero si estos aún resultaran económicos pueden ser atractivos para otras de menor tamaño.

La demanda y precio de los HC ha llevado a muchos países a mantener o implementar nuevos planes de exploración convencional, aún cuando las expectativas de las reservas por descubrir están lejos de ser aquella del comienzo de la historia de la cuenca.

Un contexto de seguridad jurídica favorable, con gravámenes impositivos aceptables, pueden modificar la aversión al riesgo que significa la inversión en exploración y motorizar la búsqueda de prospectos en cuencas maduras que de otra manera serían poco atractivos.

La conveniencia de explorar por nuevas reservas basados en estos y otros aspectos, como se dijo, resulta por lo general de apreciaciones subjetivas de parte de diferentes expertos, no siempre sencilla de decodificar y utilizar para quienes deciden invertir su dinero esperando un resultado favorable. Por esta razón, es importante utilizar un modo racional de integrar diferentes criterios, procurandominimizar eventualmente el sesgo que puede resultar de considerar solo recomendaciones individuales.

Al tratar de ponderar conceptos tan ambiguos como los mencionados, seguramente encontraremos que es más natural para los expertos utilizar términos del lenguaje antes que probabilidades. Esto es propio de la teoría de lógica difusa, donde el grado de verdad de un cierto acontecimiento se mide en términos de posibilidades a veces también llamadas “probabilidades subjetivas”

La teoría de conjuntos difusos o lógica difusa, muy utilizada en informática y otros campos de la ciencia, fue introducida en 1964 por Lotfi Asker Zadeh, matemático de la Universidad de Berkeley. En esta área de la matemática se necesita un modo de razonamiento diferente a lo estadístico para tratar todas las variables que pueden ayudar a determinar el grado de favorabilidad de un cierto ambiente geológico para invertir en exploración. No todos aceptan las respuestas que propone la lógica difusa, pero vale la pena considerar un modelo de estas características para tener una visión diferente a la que parece predominar al utilizar el término madurez.

Los términosutilizados en este caso son en realidad “variables lingüísticas” útiles para describir diferentes grados de apreciación o verdad subjetiva sobre una cierta propiedad. Estas variables de carácter difuso pueden ser cualesquiera, en tanto y en cuanto describa una variación coherente de posibles resultados.

Supongamos a modo de ejemplo que se quiere diferenciar la madurez de distintos ambientes de una cuenca en función de tres conceptos o variables difusas:

- Grado de exploración previa
- Potencial Remanente
- Riesgo geológico

En la tabla de la Figura 1 se proponen diferentes categorías para ponderar la importancia de

cada variable. Resulta obvio que un sector donde se combinan A= Intensa, B=Pobre, C=Bajo, el grado de madurez es avanzada. Lo mismo ocurre con el resultado de madurez asignado a las restantes columnas de categorías de la misma matriz.

	VARIABLES DIFUSAS	CATEGORIAS		
A	Exploracion Previa	Intensa	Moderada	Escasa
B	Potencial Remanente	Pobre	Favorable	Desconocido
C	Riesgo Gelogico	Bajo	Medio	Alto
	Grado de Madurez	Avanzada	Temprana	Inmaduro

Figura 1

Sin embargo, el resultado no es tan obvio cuando distintos expertos combinan las mismas variables de manera diferente. La Figura 2, porejemplo, podría ser el resultado de la valuación del mismo ambiente por parte de otro experto. Como se ve, puede resultar en uniones muy diferentes de las mismas variables. Con lo cual, calificar el grado de madurez conun soloconcepto lingüístico es más complejo y mucho más cuando se agregan varios expertos a la valuación

	VARIABLES DIFUSAS	CATEGORIAS		
A	Exploración Previa	Intensa	Moderada	Escasa
B	Potencial Remanente	Pobre	Favorable	Desconocido
C	Riesgo Geológico	Bajo	Medio	Alto
	Madurez	???????		

Figura 2

Lo anterior sugiere que la definición de cuenca madura es un concepto muy ambiguo que conviene revisar. Dependiendo de cómo se agrupen las variables, se puede hablar de grados de madurez para cada ambiente en particular, antes que calificar la cuenca en su conjunto. Esto es algo que los exploradores conocen muy bien, pero no existe una manerasimple deconsiderar dichas variables en términos de probabilidades para tener una conclusión estadística. En el contexto léxico, a su vez, es posible que el grado de madurez de un ambiente determinado no sea expresado de la misma manera o signifique lo mismo para diferentes exploradores. Se necesita, entonces, disponer de unprocedimiento ordenado de razonamiento para conseguir un discurso de favorabilidad comprensible y en esto pueden ser útiles los conceptos de lógica difusa.

La Figura 3 es un corte esquemático representativo de la plataforma de alguna de las cuencas productivas de Sudamérica, donde se pueden distinguir diferentes categorías de madurez según el ambiente que se considere. Sin lugar a dudas, las regiones de flanco afectadas por tectónica flexural, con predominio de bloques rotados y pliegues reflejos del basamento, son ambientes que han sido investigados intensamente y a ellas se asocian la mayor parte de las reservas descubierta a la fecha. Para esta situación en particular el concepto de madurez en relación a trampas estructurales se justifica plenamente.

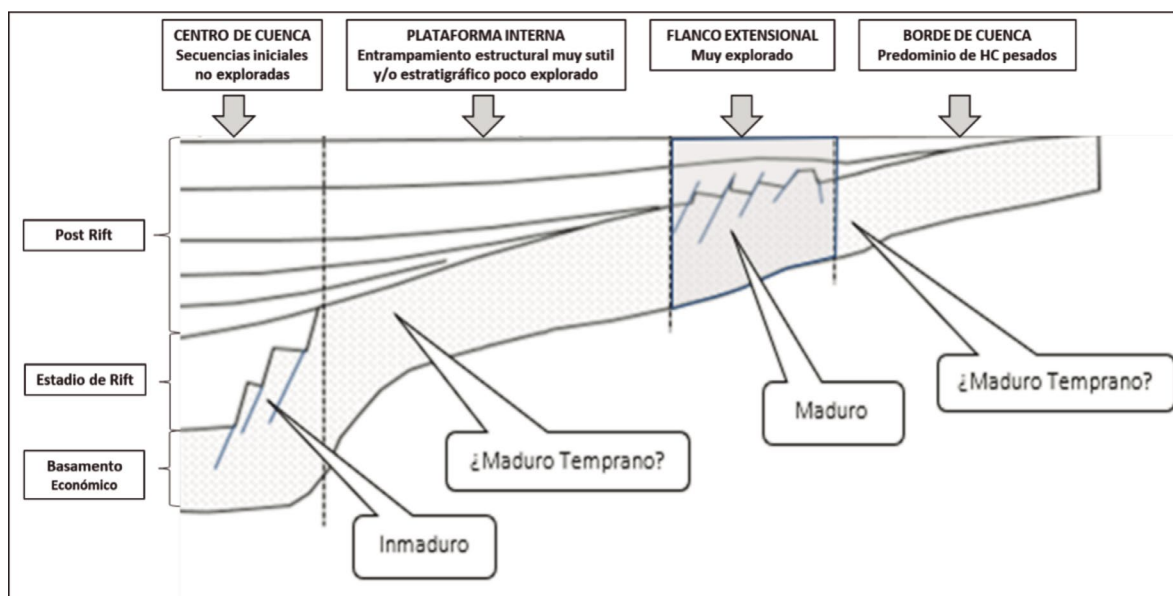


Figura 3

Sin embargo, si se revisa la historia de la exploración en cada caso, se puede ver que, desde dichos trenes productivos, tanto hacia el interior como hacia el borde de cuenca, quedan todavía amplios sectores que en general han recibido poca atención debido quizás a la dificultad técnica para definir nuevos factores de entrapamiento. Sabemos sin embargo que dichos sectores forman parte del sistema petrolero activo de la cuenca y, por lo tanto, la posibilidad de contener nuevas reservas de hidrocarburos es muy alta. Estos ambientes hasta ahora poco explorados pueden verse como verdaderos bypass de la exploración, apesar de los años transcurridos.

Hay ejemplos muy interesantes para mencionar sobre los resultados obtenidos cada vez que la exploración convencional tomó el camino de arriesgarse con nuevas exploraciones en ambientes inmaduros o maduros tempranos como los que se mencionan. Los resultados no fueron tan decepcionantes como se puede suponer.

VARIABLES	
1	Exploración Areal
2	Exploración Vertical
3	Antecedentes del Play
4	Tipos de Trampas
5	Calidad de HC
6	Potencial de Generación
7	Inversión de Riesgo
8	Utilidad Esperada

Figura 4

EL CONCEPTO DE NORMAS DE INFERENCIA

A modo de ejemplo en la Figura 4 se utilizan algunas de las variables que podrían intervenir en un modelo de estimación de madurez a partir de la teoría. Pueden ser estas o más o también pueden ser otras, Mombrú (2018)

Definamos los elementos que pueden integrar un modelo difuso de favorabilidad:

- Variables: Aspectos a incluir en la valuación.
- Conjunto: Valores que puede tomar una variable difusa en un universo U.
- Conjunción: Unión de dos conjuntos.
- Incidencia: Fortaleza de una conjunción.
- Peso (μ): Valor entre 0 y 1 asignado al peso de cada variable en cada caso particular.
- Conclusión: Categoría de favorabilidad de una conjunción.
- Función de Pertenencia: Asocia a cada elemento del universo U un valor difuso $\mu_A(x)$ que expresa el grado de certeza que se tiene de que x pertenece a un conjunto difuso dado.

En lógica difusa, una norma o regla de inferencia, es una forma lógica que consiste en una función que toma premisas, analiza su sintaxis, y devuelve una conclusión (o conclusiones). Tiene la forma:

$$\text{If } x \text{ is } A \text{ and } y \text{ is } B \text{ then } z \text{ is } C$$

La expresión anterior relaciona por intersección dos conjuntos de variables difusas x e y , llamadas premisas, para tener una conclusión z que pertenece al conjunto C . Aquí *and* significa intersección. Zadeh (1965) define la pertenencia de la intersección entre dos conjuntos difusos por la expresión:

$$A \cap B = \min ((\mu_A(x), \mu_B(y))) = \mu_A(x) \wedge \mu_B(y)$$

Como en la teoría de conjuntos clásicos, la notación $\cap$ implica la comparación del peso asignado a cada variable para seleccionar el de menor valor al calcular la pertenencia que se debe aplicar en el conjunto C . Aquí se considera agrupar por pares las variables anteriores, tal que la pertenencia de favorabilidad de la intersección tendrá distinta incidencia o fortaleza en el resultado final de la valuación que incluye todas las variables. La Figura 5 muestra conceptualmente cómo se establecen en este caso reglas de inferencia o evaluación dependiendo de la relación de fortaleza entre variables.

		INCIDENCIA	PESO	CONCLUSIONES
		Máxima	0,70- 1,00	
VARIABLES	CONJUNCIÓNES	Promedio	0,30-0,70	
A		Mínima	0,0 - 0,30	
B				
Regla	Inferencias	Conclusión	Conjunto (*)	
1	A Max $\cap$ B Max	Optima	0;0,7 1;0,90 1;1	
2	A Max $\cap$ B Prom	Muy FaVorable	0;0,60 1;0,75 1;0,90	
3	A Max $\cap$ B Min	Favorable	0;0,45 1;0,60 0;0,75	
4	A Prom $\cap$ B Prom	Aceptable	0;0,30 1;0,45 0;0,60	
5	A Prom $\cap$ B Min	Cuestionable	0;0,15 1;0,30 0;0,45	
6	A Min $\cap$ B Min	Desfavorable	0;0,0 1;0,15 0;0,30	

(*) La notación x;u| expresa las coordenadas del vértice de una demembresía triangular en el universo U

Figura 5

La tabla de la Figura 6 muestra un ejemplo donde las 8 variables anteriores se han ponderado mediante términos lingüísticos o categorías. En lógica difusa el proceso de asignar categorías a cada variable se denomina fusificación. A cada categoría se le asigna además un peso con valor entre 0 y 1, consistente con el grado de conocimiento o percepción subjetiva que se tenga de ella.

VARIABLES	CATEGORIAS			PESO	CONJUNCIÓN	CONCLUSIÓN
	MAXIMA	PROMEDIO	MÍNIMA		$\cap$	FAVORABILIDAD
Exploracion Areal	Suficiente	Moderada	Escasa	0,25	0,25	Cuestionable
Exploracion Vertical	Total	Parcial	Minima	0,35		
Antecedentes del Play	Comprobado	Aislado	Nuevo	0,52	0,52	Cuestionable
Tipo de Trampas	Probada	Infrecuente	Conceptual	0,70		
Tipo HC	Esperado	Asociado	Desconocido	0,65	0,65	Muy Favorable
Potencial Generación	Excelente	Bueno	Regular	0,80		
Inversion de Riesgo	Baja	Media	Alta	0,65	0,65	Muy Favorable
Utilidad Esperada	Grande	Moderada	Chica	0,90		

Figura 6

FUNCIONES DE PERTENENCIA

Una función o mapa de Pertenencia (Favorabilidad en este caso) se representa por todos los conjuntos que se definen en las reglas de la Figura 5. En este caso la variable independiente es el mínimo de la intersección entre pares de variables. La pertenencia de Favorabilidad $\mu(F)$ es el grado de verdad o creencia que se tiene sobre la incidencia que dicho valor mínimo tendrá en el resultado final de la valuación.

La Figura 7 muestra el mapa o topología propuesto para representar los conjuntos de Favorabilidad considerados. En el eje vertical se representa el grado de pertenencia $\mu(F)$ de cada conjunto y en el eje horizontal el dominio de variación de todas las categorías según el peso asignado a cada una de ellas. Se suele denominar el eje horizontal como “dominio del discurso”, por cuanto aquí aparecen representadas todos los términos lingüísticos utilizados.

La expresión difusa de la intersección entre dos variables por ejemplo el caso entre ExploAreal Explo Vertical, es el área del trapezoide indicado en color azul sobre el mapa de pertenencia de la Figura 8. Dado que en muchas aplicaciones se necesita un valor real (crisp) de salida de una intersección, se acepta que la coordenada del centro de gravedad o bien del centroide del trapezoide indicado en la figura es representativo de dicho valor real.

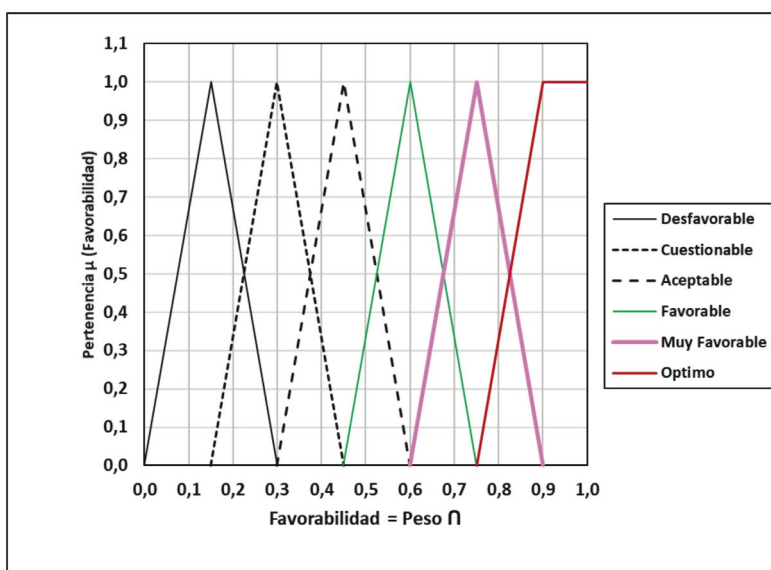


Figura 7

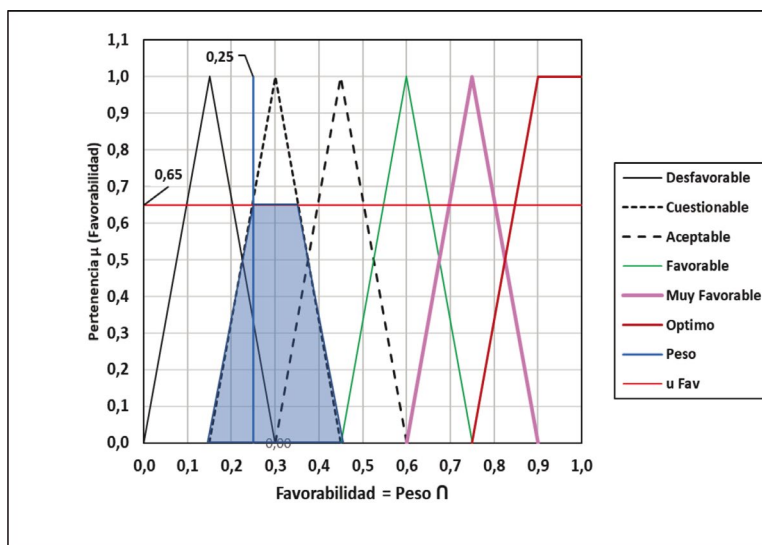


Figura 8

DEFUSIFICACION

La operación de calcular el valor real de una determinada intersección se denomina defusificación. El método más conocido para calcular el centroide de una intersección de varias variables difusas es el de Mamdani, (1977). La fórmula de Mamdani se basa en calcular la favorabilidad de todas las intersecciones establecidas por las reglas de inferencias propuestas y el resultado o Salida es el valor real crisp que representa el Índice de Favorabilidad en este caso del dominio geológico considerado

$$salida = \frac{\sum_{i=1}^n x_i \mu_C(x_i)}{\sum_{i=1}^n \mu_C(x_i)}$$

En cualquier modelo se tendrán tantas áreas similares a la de la Figura 8 como pares de variables se consideren. En la ecuación de Mamdani, el numerador es la suma de cada área multiplicada por su valor de favorabilidad. El denominador es el área acumulada para cada valor de favorabilidad. Aquí se muestra una versión simplificada del método utilizando los mismos valores de categorías y peso asignados a las variables establecidas en la tabla de la Figura 6. Los datos necesarios para calcular la favorabilidad del conjunto de todas las variables consideradas son los indicados en la tabla de la Figura 9:

Conclusión	Peso		Favorabilidad μ	
Cuestionable	0,00	0,25	0,65	0,00
	1,00	0,25	0,65	1,00
Favorable	0,00	0,52	0,40	0,00
	1,00	0,52	0,40	1,00
Muy Favorable	0,00	0,65	0,35	0,00
	1,00	0,65	0,35	1,00
Solución a la Ecuación de Salida				
Numerador	(0,3)*0,65+(0,5+0,6+0,70)*0,40++0,8*0,35 =			1,20
Denominador	0,65+0,40+0,40+0,35 =			2,65
			SALIDA =	0,45

Figura 9

La Figura 10 es el mapa de pertenencia de favorabilidad para las variables seleccionadas. La coordenada del centroide en este caso es 0,45. La pertenencia de favorabilidad del conjunto de

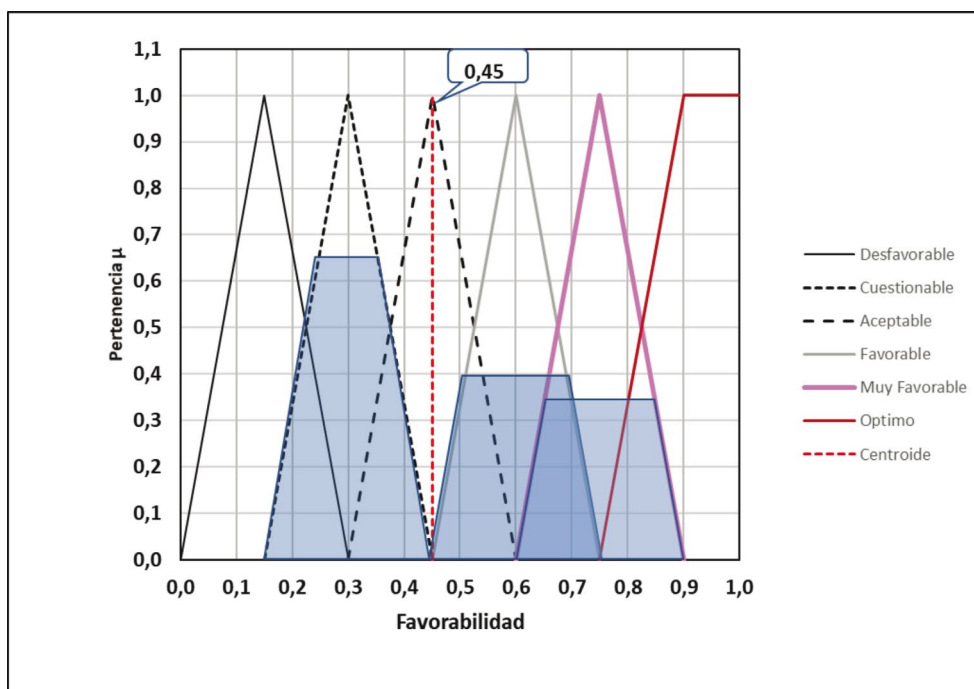


Figura 10

variables, como se ha descripto, y la solución de Mamdani es adecuada para la valuación de un experto en un caso en particular.

Asumiendo que un resultado favorable para nuevas inversiones debería tener un índice de favorabilidad mayor al 50%, el resultado obtenido no parece muy favorable, sin embargo, la incidencia de la conjunción con mayor peso negativo corresponde al bajo nivel de exploración areal y vertical del área y esto dice que el índice obtenido está muy afectado por la falta de información, lo que es lo mismo, por la “aversión al riesgo” puesta en evidencia en las etapas previas de la exploración.

La conclusión obtenida en el ejemplo es muy común y señala el círculo vicioso que se plantea en muchas situaciones donde no se explora por falta de información que debió ser obtenida por la exploración en algún momento pasado. El valor absoluto del índice obtenido es importante, pero ponderar las razones del propio valor también debe ser tenido en cuenta. Una cosa es que la favorabilidad sea baja por falta de información y otra que lo sea por razones de bondad geológica. Exponer los criterios de manera racional, nuevamente, es la base para cualquier conclusión a futuro.

VALUACION DE RESULTADOS MÚLTIPLES

Seguramente es conveniente la opinión de más de un experto para tener de cada ambiente de la cuenca varias valuaciones sobre el potencial futuro o favorabilidad para la exploración convencional. Esto lleva a la necesidad de utilizar algún método que permita reunir y procesar todas las opiniones para llegar a un resultado. Hay varios métodos para operar números difusos con esta finalidad. Los más conocidos son Expertony Fuzzy- Delphi. Lazzari (1998), ofrece un ejemplo práctico de aplicación del método Fuzzy Delphi para la estimación de un cash flowa través de la opinión de expertos. De manera simple el procedimiento se basa en obtener de cada evaluador el entorno o límite de favorabilidad mínima y máxima entre los cuales puede oscilar el valor de favorabilidad. Por ser más sencillo se utilizará aquí una versión abreviada del método Fuzzy-Delphi aplicado a la estimación de madurez de un determinado ambiente geológico. Definamos primero algunos conceptos:

Variable Difusa: Favorabilidad

Categorías y Escala: Se utiliza una escala de posibilidad endecadaria (11 valores entre 0 y 1), para ponderar diversos grados o categorías de la variable favorabilidad como se muestra a continuación en la tabla de la Figura 11:

CATEGORIA	ESCALA
Descartar	0
Muy Desfavorable	0,1
Desfavorable	0,2
Muy Cuestionable	0,3
Cuestionable	0,4
Neutro	0,5
Alentador	0,6
Muy Alentador	0,7
Favorable	0,8
Muy Favorable	0,9
Optimo	1

Figura 11

Una vez acordada esta correspondencia, se solicita a los expertos establecer las estimaciones de favorabilidad mínima y máxima de un determinado ambiente de la cuenca para la existencia de nuevas reservas. Veamos un ejemplo de aplicación considerando la opinión de 5 expertos sobre un cierto ambiente. Figura 12.

Evaluador	Extremos	
	Inferior	Superior
1	0,3	0,7
2	0,4	0,6
3	0,2	0,6
4	0,6	1
5	0,5	0,9

Figura 12

El primer experto, por ejemplo, asume que la favorabilidad es entre 0,30 y 0,70. Cuando se observa la Figura 11 esto equivale a expresar una alta incertidumbre en el resultado de acuerdo a la categorización propuesta (Muy Cuestionable a Muy Alentador). La tabla de la Figura 13 muestra cómo se organizan los datos de frecuencia de los valores extremos aportados por cada experto.

FAVORABILIDAD	ESCALA (X)	FRECUENCIA		FQ RELATIVA	
		INFERIOR	SUPERIOR	INFERIOR	SUPERIOR
Descartar	0	0	0	0	0
Muy Desfavorable	0,1	0	0	0	0
Desfavorable	0,2	1	0	0,2	0
Muy Cuestionable	0,3	1	0	0,2	0
Cuestionable	0,4	1	0	0,2	0
Neutro	0,5	1	0	0,2	0
Alentador	0,6	1	2	0,2	0,4
Muy Alentador	0,7	0	1	0	0,2
Favorable	0,8	0	0	0	0
Muy Favorable	0,9	0	1	0	0,2
Optimo	1	0	1	0	0,2

Figura 13

En la columna de frecuencia se contabiliza la cantidad de veces que aparece un cierto valor en ambos extremos. En las dos columnas de la derecha se ha dividido cada valor de frecuencia por el número de expertos en este caso por 5 para obtener la frecuencia relativa FQ de estimación. Se quiere conocer la incidencia de cada FQ relativa en relación a la escala de favorabilidad (X) propuesta. Para esto multiplicamos (pesamos) las frecuencias relativas por el valor de X correspondiente. El resultado se muestra en la columna indicada como $X \cdot f(X)$ de la Figura 14. Sumando cada columna de $X \cdot f(X)$ tendremos los valores medios inferior (minf) y superior (msup) de frecuencias relativas pesadas que surgen del conjunto de las opiniones de los expertos.

ESCALA (X)	FRECUENCIA RELATIVAS f(X)		X* f(X)	
	INFERIOR	SUPERIOR	INFERIOR	SUPERIOR
0	0	0	0,00	0,00
0,1	0	0	0,00	0,00
0,2	0,2	0	0,04	0,00
0,3	0,2	0	0,06	0,00
0,4	0,2	0	0,08	0,00
0,5	0,2	0	0,10	0,00
0,6	0,2	0,4	0,12	0,24
0,7	0	0,2	0,00	0,14
0,8	0	0	0,00	0,00
0,9	0	0,2	0,00	0,18
1	0	0,2	0,00	0,20
MEDIAS (m)			0,40	0,76
			<i>minf</i>	<i>msup</i>

Figura 14

La “Esperanza” o Media de la serie de opiniones en este caso será un número difuso:

$$E = \{0,40; 0,76\}$$

Esto dice que hay una dispersión alta en la estimación de la favorabilidad, entre Cuestionable a Favorable en el contexto de categorías asignadas a la favorabilidad. Un paso posterior en el método Fuzzy-Delphies calcular las varianzas de cada serie de valores de los extremos.

Como valor central (crisp) de un modelo difuso triangular se puede adoptar el de la media entre *minf* y *msup*, con lo cual un valor crisp representativo de la combinación de opiniones de expertos sería 0,58. Es decir, tendríamos para la favorabilidad un resultado más Alentador que Neutro, de acuerdo a las categorías establecidas. Sin embargo, es posible que esta media esté muy influenciada por el grado de dispersión de las valuaciones realizadas. Cualquier desvío sería difícil de ponderar considerando solo este valor central sin conocer la varianza de la serie de valuaciones.

Tanto en el Método Experto como en el Fuzzy-Delphi, ante resultados con mucha dispersión se solicita a los expertos considerar sus resultados más de una vez hasta lograr reducir la misma. En exploración no es conveniente forzar el criterio de quienes opinan, por cuanto se busca la respuesta más independiente posible para caracterizar la favorabilidad del ambiente que se considera.

Si se acepta que en la estimación de los extremos de favorabilidad cada experto ha considerado factores subjetivos tales como tipo de trampa, reservorios, sellos y carga de hidrocarburos que cada uno de ellos espera podrían ocurrir aquí, se propone considerar los valores de *minf* y *msup* obtenidos como mínimo (P90) y máximo (P10) razonables de una distribución log-normal de favorabilidad. Los parámetros estadísticos de dicha distribución se muestran en la tabla de la Figura 15. La Figura 16 es el gráfico PDF (Probability Distribution Function) de la distribución planteado de manera logarítmica.

El centroide del área como medida de favorabilidad resultante de la opinión de los expertos corresponde al Mean de la distribución (0,57). El error de estimación (Ee) de la Media de la distribución se obtiene a partir de la ecuación $Ee = \exp(1,28 \cdot \sigma)$, Capen (1990) y expresa el factor por el cual podemos estar equivocados al estimar la media de la distribución. Mientras menor es el valor de Ee, menor es la dispersión de opiniones de los expertos. En general, el error de estimación se reduce a medida que aumenta el número de expertos. Observando el gráfico de la Figura 16, si bien hay un desvío positivo, la diferencia entre la Media y el Mean muestra que el Ee es bajo.

P90	Media Inf	0,40	μ	σ	σ^2	Mean	Moda
P10	Media Sup	0,76	-0,60	0,25	0,06	0,57	0,52
	Media	0,55					
	Ee	1,38					

Figura 15

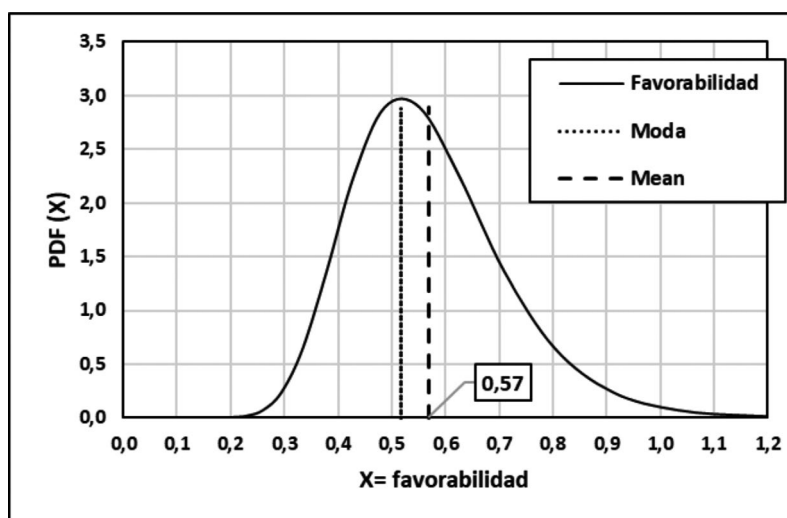


Figura 16

Es posible también sintetizar las opiniones de los expertos mediante un conjunto de números difusos triangulares (NDT) como se muestra en la tabla de la Figura 17, para lo cual se utilizan los valores extremos y el valor medio de cada valuación para generar los diferentes sets de favorabilidad individual.

FAVORAB	EXPERTOS					MEDIA
	1	2	3	4	5	
0	0,3	0,4	0,2	0,6	0,5	0,58
1	0,5	0,5	0,4	0,8	0,7	
0	0,7	0,6	0,6	1	0,9	

Figura 17

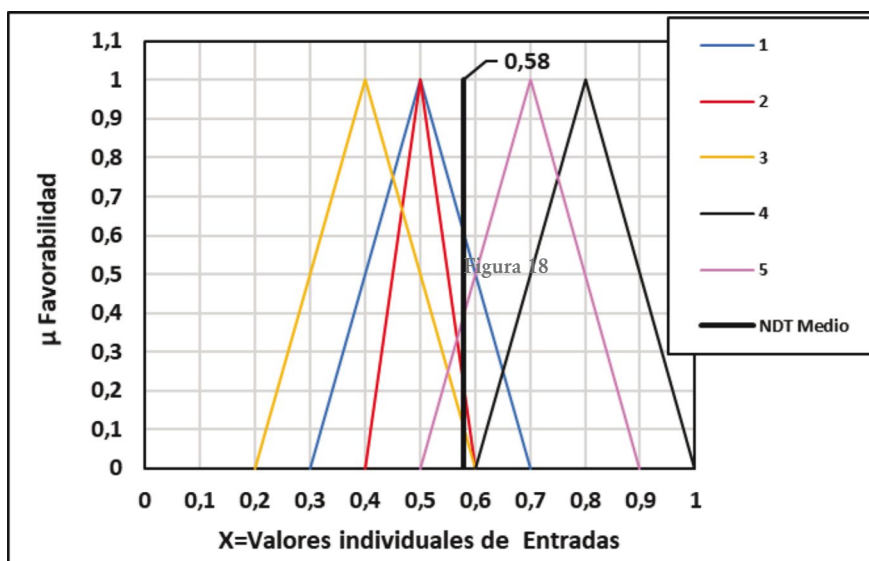


Figura 18

El haz de NDT resultante se muestra en la Figura 18. En este caso, se puede obtener una medida de favorabilidad aproximada a partir de la media de los valores $\mu=1$ de cada set. A diferencia del caso anterior, donde se utiliza una distribución log-normal para tener una estimación rápida del sesgo implícito en el resultado final, en el modo NDT se necesita de un cálculo más largo que incluya conocer la varianza de cada una de las estimaciones individuales. Cualquiera de estas alternativas es aceptable, pero el modo log-normal sugerido es más sencillo en este sentido y la teoría es más familiar a los exploradores.

CONCLUSIÓN

Resumiendo lo visto, puede ser útil introducir conceptos de lógica difusa para tratar de tener una nueva percepción del grado de madurez de diferentes ambientes de una cuenca productiva de HC con la participación de varios expertos. Obsérvese que no es necesario conocer la identidad de cada evaluador ni tampoco entender las razones de sus estimaciones. Tampoco se propone comparar resultados, de manera que en la práctica los datos pueden tener todo el criterio de privacidad que se requiera.

Estamos tentados a creer que se puede asignar una cierta probabilidad que comprenda a diferentes eventos geológicos o económicos, pero no siempre es posible definir los datos que intervendrán en la estadística, ni identificar qué tipos de vínculos relacionan distintos eventos entre sí, con lo cual la naturaleza de la distribución estadística que resultaría es difícil de prever. Esto es lo que hace útil el entorno de la lógica difusa, ya que su aplicación permite derivar distribuciones de probabilidades subjetivas para sacar algunas conclusiones.

Por otro lado, se puede pensar que contando con la opinión de varios expertos sobre el grado

de favorabilidad de un determinado ambiente geológico es suficiente para definir su potencial exploratorio. El problema es que, si no se utiliza una metodología para exponer las bases del pensamiento racional seguido, no hay muchas maneras de comparar estos criterios. Dicho de otro modo ¿Qué significa para el inversor el concepto de favorable o desfavorable de diferentes expertos? Este fue el punto de partida del presente artículo.

Enfocar el tema de la madurez de cualquier ambiente de una cuenca productora con criterios diferentes es esencial para diseñar acciones futuras de nueva exploración convencional. Lógicamente, no se puede pensar que solo por definir con más propiedad la madurez exploratoria de diferentes ambientes u objetivos se tenga la garantía de aumentar las reservas, pero no hacerlo puede llevar a una inacción cuyas consecuencias pueden ser más onerosas que las de invertir en más exploración aceptando mayor riesgo.

Probablemente el razonamiento sugerido aquí para caracterizar grados de madurez es algo complicado y poco habitual para los estándares de la industria. Sin embargo, si sirve para tener un discurso común entre exploradores y quienes deciden la inversión de riesgo en una Compañía u organismo estatal de planificación energética, podría justificarse el esfuerzo de implementar este razonamiento para reconsiderar el potencial remanente en cuencas exploradas.

REFERENCIAS CITADAS

- Capen, E; 1992 "Dealing with Exploration Uncertainties". The American Association of Petroleum Geologist.
- Kainz, W, 2011, "Fuzzy Logic and GIS". Department of Geography and Regional Research. University of Vienna, Austria. http://homepage.univie.ac.at/wolfgang.kainz/Lehrveranstaltungen/ESRI_Fuzzy_Logic/File_2_Kainz_Text.pdf.
- Lazzari, L, 1998, "El método Fuzzy-Delphi. Estimación del cash Flow a través de la opinión de expertos". http://bibliotecadigital.econ.uba.ar/download/cuadcimbage/cuadcimbage_n1_01.pdf
- Mamdani, E, 1997, Applications of fuzzy logic to approximate reasoning using linguistic synthesis. IEEE Transactions on Computers, vol 26, Nro. 12, pp 1182-1191.
- Mombrú, C, 2018, "Conceptos de estadística aplicados a la exploración petrolera". Editorial Autores de Argentina. info@autoresdeargentina.com
- Vargas Govea, B., A, 2012, "Evaluación de riesgo de operación con matemáticas borrosas". Revista Caribeña de Ciencias Sociales. <http://caribeña.eumed.net/evaluacion-de-riesgos-de-operacion-con-matematicas-borrosas/>
- Zadeh, L; A, 1965, Fuzzy Sets. Department of Electrical Engineering and Electronics Research Laboratory University of California, Berkeley California



**10° CONGRESO DE
EXPLORACIÓN Y
DESARROLLO DE
HIDROCARBUROS**

**Energía y Sociedad
aliados inseparables
Mendoza 2018**