

¿En qué consiste analizar la incertidumbre en el cálculo de la reserva petrolera?

Paula Yelitza Prada Navarro
Fhernando Enrique García Oliver

El proyecto "Análisis de la incertidumbre en el cálculo de la reserva petrolera" se realiza bajo el convenio de cooperación tecnológica UNAB-ICP. Esta investigación surge por solicitud del Instituto Colombiano del Petróleo (ICP), que planteó la necesidad de evaluar la incertidumbre en la aplicación del método volumétrico para el cálculo de reservas petroleras y su impacto en las decisiones de inversión.

La estimación de la reserva petrolera, entendida como el volumen de hidrocarburo que se puede extraer de un yacimiento, se realiza mediante la aplicación del método volumétrico. La aplicación de dicho método se debe a que involucra parámetros geológicos y petrofísicos como lo son el área, la porosidad, el espesor, la saturación, el factor volumétrico y factor de recobro o de recuperación. En la vida real, no es predecible a ciencia cierta el valor exacto de todos los parámetros que afectan el cálculo de la reserva petrolera. Dichos parámetros de entrada, poseen un nivel de incertidumbre; ya que su medición se realiza bajo el muestreo en ciertos lugares y pueden estar sujetos a errores debido a la subjetividad del análisis del

evaluador, y de la cantidad y calidad de la información que se tenga. La realización de una única estimación, empleando los valores esperados de cada parámetro, da por resultado un alto margen de error ya que la probabilidad de que todos los parámetros alcancen su valor esperado al tiempo es prácticamente nula y genera la alta posibilidad de tomar decisiones de inversión erradas.

En términos financieros, el valor de reservas estimadas es la base primordial para la proyección de ingresos de un campo petrolífero, la incertidumbre en el cálculo de las reservas ocasiona flujos futuros inciertos y, por tanto, afecta las decisiones de inversión llegando a generar costos inesperados en cuanto al momento de ocurrencia y magnitud. Con base en ello, el proyecto "Análisis de la incertidumbre en el cálculo de la reserva petrolera" busca aportar una metodología aplicable al caso colombiano que permita realizar un análisis de la incertidumbre en el cálculo de las reservas petroleras determinando sus repercusiones económicas.

La existencia de incertidumbre hace que no pueda conocerse de antemano el resultado de una acción o que, en otras palabras, pueda suceder algo diferente a lo esperado. Los individuos, a menudo, tienen que escoger entre muchos cursos de acción que tienen un número diverso de resultados posibles. El problema está en el modo en que, en determinadas condiciones, los individuos toman sus decisiones. La solución tradicional al problema se basaba en la teoría de las probabilidades: si el evento de que se trata ha ocurrido una gran cantidad de veces, es posible entonces determinar la probabilidad de ocurrencia de cada uno de los resultados posibles; dicho en otros términos, si se conoce la distribución de las probabilidades de un suceso es posible también conocer el curso de acción que ofrezca menor incertidumbre o mayores posibilidades de éxito. Pero la teoría de la probabilidad no tiene mayor aplicación si no pueden repetirse -o no se han repetido hasta el momento- las acciones que interesa estudiar; y esto es, precisamente, lo que ocurre con una gran cantidad de las decisiones económicas que se toman en el mundo¹. La incertidumbre, entendida como la impredecibilidad o previsión imperfecta de los sucesos futuros¹, que se traduce en una situación en la que se desconoce completa o parcialmente la probabilidad de que ocurra un

determinado evento, debe medirse; el problema ahora radica en cómo medirla.

Estadísticamente se utiliza la varianza -cuya raíz cuadrada es la desviación estándar- como una medida de dispersión de datos, que permite cuantificar la incertidumbre. Este concepto es usado en finanzas de forma generalizada.

Para el caso analizado, se decide utilizar un concepto nuevo que permita medir la incertidumbre: la Entropía.

Pero ¿Qué es la Entropía? La Entropía, considerada hoy en día la segunda Ley de la Termodinámica, comienza a ser pretendida como concepto hacia el siglo XVII cuando la Revolución Industrial impulsada por las máquinas a vapor aparece generando avances importantes en las ciencias básicas. Pero solo hasta el siglo XIX el alemán Rudolf Clausius adoptó la palabra griega (*e tropié*) que significa evolución o transformación unida a la palabra *energía* para dar como resultado la Entropía².

Desde la física, la Entropía es un concepto complicado, pesado, que necesita ser cuidadosamente analizado para lograr ser entendido. Por ejemplo, para la Termodinámica, la Entropía puede interpretarse como la magnitud física que mide la parte de la energía que no puede utilizarse para producir un trabajo³. Otros autores, como Javier Barón en su artículo *Entropía ¿Un concepto complicado?*, la definen como "La cantidad de energía por unidad de temperatura absoluta que se emplea en transformar la energía de una forma a otra por medio de un proceso" que en sí misma no nos permite asociarla a la información que nos fue dada. En definitiva, el concepto popular de la Entropía entendida esta como la tendencia natural hacia el desorden, es el que mejor se adapta a la información dada. De esta manera, podemos entender la entropía pensando en por qué debemos limpiar nuestra casa al llegar de un mes de vacaciones si ha permanecido totalmente cerrada y sin ser utilizada por nadie. ¿Por qué un cristal se rompe y no se reconstruye? ¿Por qué el agua se derrama y no ocurre lo contrario? Estas y muchas otras preguntas podrían responderse diciendo, porque existe la Entropía; es decir, la tendencia natural hacia el desorden.



¹ Definición de Incertidumbre. Diccionario de Economía y Finanzas, consultado el 28 de julio de 2006. <http://www.eumed.net/coursecon/dic/l.htm>

² ¿Por qué la Entropía aumenta? <http://mx.answers.yahoo.com/question/index?qid=20060927132012AATBD85>

³ ¿Por qué la Entropía aumenta? <http://mx.answers.yahoo.com/question/index?qid=20060927132012AATBD85>

Sólo hasta el siglo XX, específicamente en 1948, Shannon logra aplicar el concepto físico a la teoría de la información. Shannon planteó que la cantidad de información que arroja un suceso tiene relación inversa con la probabilidad de ocurrencia del mismo. Esto se puede entender de la siguiente manera. Si en una bolsa tenemos 10 bolitas de ping-pong, 9 blancas y 1 amarilla, hay una probabilidad de 90% de extraer 1 bola blanca en el primer intento y una probabilidad de 10% de extraer la bola amarilla en el mismo evento. Pero ¿qué sucede si al realizar el experimento se extrae la bola amarilla, es decir, la de menor probabilidad. Se tendrá una certeza del 100% de que la siguiente bola será blanca. Por ende la cantidad de información que arroja el haber extraído la bola amarilla, la de menor probabilidad de ocurrencia, es mucho mayor que si se hubiese extraído una bola blanca. De allí que la cantidad de información que arroja un suceso tenga relación inversa con la probabilidad de ocurrencia del mismo.

Partiendo de ello, Shannon utilizó la función logaritmo de la probabilidad de ocurrencia de un evento como la que mejor se adapta a su explicación debido a que, dada una probabilidad de ocurrencia del evento de 100% o de 1, la información que arroja su ocurrencia es cero y la función logaritmo de 1 es cero. Como el logaritmo de cualquier valor ubicado en el rango de 0 a 1 arroja un valor negativo se hace necesario que la fórmula sea negativa. De esta manera la fórmula de la cantidad de información que se obtiene al darse un evento es:

$$I_i = -\text{Log}_2(P(X_i))$$

El hecho de que el logaritmo sea de base 2, 10 o natural es irrelevante, sólo permite saber en qué unidades se expresa el resultado obtenido; de tal manera que si es de base 2, el resultado estará dado en Bits (*Binary Digits*), si es de base 10 estará dado en Dits (*Decimal Digits*) y si es natural estará dado en Nats (*Natural Digits*).

Shannon combinó dicha función con el valor esperado de una variable aleatoria discreta, que no es más que la sumatoria desde i hasta n de cada suceso por la probabilidad de ocurrencia del mismo, que matemáticamente se expresa como:

$$E[X] = \sum_{i=1}^n P_i X_i$$

Al realizar la combinación entre valor esperado y cantidad de información arrojada por un evento obtenemos la Entropía, que matemáticamente se expresa de la siguiente manera:

$$H(x) = E[I(x)] = \sum_{i=1}^n p(x_i) * I(x_i)$$

Como podemos ver, esta fórmula es para ser aplicada a variables aleatorias discretas y en nuestro caso nos referimos a variables aleatorias continuas por lo que necesariamente debemos aplicar integración. De tal manera que la fórmula anterior se nos convierte a la siguiente integral:

$$H = - \int_a^b f(x) \ln f(x) dx$$

Donde como podemos ver multiplicamos la cantidad de información, dada por la función logarítmica por la densidad de la función de distribución dados los límites a y b. Aplicando tal ecuación obtenemos el valor esperado que no es más que el área bajo la curva de la forma de distribución entre los límites a y b.

Lamentablemente, el valor H no arroja información de fácil interpretación y por ello se hace necesario aplicar el coeficiente Tr generado a partir del Coeficiente de Theil. El coeficiente de Theil es la redundancia, y se denota con la letra T, es una medida que se deriva de la Entropía y se define como la diferencia existente entre la Entropía máxima y la entropía de la distribución. De allí a que como la Entropía varía entre 0, valor mínimo y Log N, valor máximo, la redundancia se interpreta en términos opuestos a los de la entropía. No obstante, esta medida no permite que se hagan comparaciones entre las diferentes distribuciones de probabilidad por lo que se usa una variable relativa que permita realizar dichas comparaciones y se denomina Redundancia Relativa, se denota con la sigla Tr y no es más que la certidumbre.

De esta manera la Redundancia Relativa o Tr matemáticamente se expresa como:

$$\% \text{Incertidumbre} = \frac{H_n(x)}{H(\text{máx})}$$

$$\% \text{Certidumbre} = 1 - \frac{H_n(x)}{H(\text{máx})} = T_r$$

El resultado de la aplicación de la Redundancia Relativa arroja el grado de concentración de los datos ya que compara la Entropía de la forma de distribución específica con la Entropía máxima que es la entropía de la distribución uniforme, debido a que todos los datos tienen en esta distribución la misma probabilidad de ocurrencia, siendo así la máxima Entropía que se puede obtener. Por ende, a no ser que los límites cambien, no puede aplicarse la Redundancia Relativa para una distribución uniforme ya que se compararía consigo misma generando una ausencia de valor resultante.

En el campo petrolero utilizado para la realización de este proyecto, existieron momentos en los que se realizaron estudios que mejoraron la certidumbre del volumen de reservas petroleras. Con la información obtenida para calcular el monto de la reserva en cada uno de los momentos en que se realizaron estudios específicos, se aplica la entropía buscando obtener como resultado si se mejoró o no la certidumbre, en qué proporción y el parámetro más influyente en dicho cálculo.

Posteriormente, se realiza la proyección del flujo de caja para la realización de un análisis de sensibilidad, y habiendo determinado a la fecha cuál es el parámetro más influyente y evaluar los resultados posibles, ver la afectación de los principales indicadores financieros para evaluación de proyectos al hacerse la inversión necesaria para mejorar la certidumbre en el parámetro de mayor influencia y por ende mejorar la certidumbre de la reserva petrolera a un costo específico.

De esta manera, el proyecto "Análisis de la incertidumbre en el cálculo de la reserva petrolera" genera una solución aplicando un concepto físico como es la Entropía, solución novedosa pero de la que se desconoce su exactitud y/o relevancia ante otras medidas. Por tanto, este proyecto pretende generar conocimiento y crear inquietud en la posible utilización de esta nueva metodología.