

# **ANÁLISIS DE VALUACIÓN DE PROYECTOS INCIERTOS E IRREVERSIBLES. LA IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES RELEVANTES EN MODELOS APLICABLES A LA INDUSTRIA DE SERVICIOS PETROLEROS**

*Alberto Bressan*

## **INTRODUCCIÓN**

Las herramientas utilizadas para la valuación de proyectos en I+D constituyen un conjunto útil para la evaluación de proyectos o empresas en donde el énfasis está puesto en el desarrollo y salida al mercado de los productos y servicios.

Las características de los servicios para la industria extractiva, como lo son los servicios de empresas pequeñas y medianas (PyMEs en adelante) en la industria petrolera, permiten la aplicación de herramientas desarrolladas para los proyectos en I+D.

El análisis a realizar en este trabajo se centra en las características de irreversibilidad e incertidumbre de las inversiones que realizan en sus proyectos las PyMEs de servicios petroleros. En este análisis se determinará la posibilidad de identificación de las variables relevantes para estimar los efectos de irreversibilidad e incertidumbre sobre los proyectos emprendidos por dichas empresas.

## **1. EL MERCADO DE SERVICIOS PETROLEROS EN ARGENTINA**

La explotación petrolera en la Argentina ha tenido varias etapas, en relación a como se dirigían los objetivos de la industria, desde una explotación absolutamente estatal a una totalmente privada, estableciéndose en la actualidad un sistema mixto.

La posibilidad o permiso de extracción de crudo es otorgada por el estado, actualmente por los estados provinciales, y recae en empresas denominadas Concesionarias u Operadoras. Por las características de grandes inversiones de capital específico estas empresas reservan para sí sólo determinados eslabones de la cadena de valor y el resto son tercerizados o contratados a otras empresas.

Estas notas o características otorgan a las operadoras una posición monopsonía respecto de las empresas que les brindan servicios, que van desde PyMEs a multinacionales de servicios petroleros.

La actividad petrolera se realiza en Yacimientos o depósitos de hidrocarburos ubicados en grandes extensiones denominadas Cuencas. Existen varias cuencas en Argentina, entre ellas la Austral, la Neuquina, la del Golfo San Jorge, entre otras. Es dentro de cada cuenca donde el desarrollo de las PyMEs se realiza por el propio conocimiento local de los yacimientos y es lo que le otorga también a su actividad las características de irreversibilidad e incertidumbre.

## **1.1 La cuenca del Golfo San Jorge**

Esta cuenca se ubica en la sur de la provincia de Chubut y en la parte norte de la de provincia de Santa Cruz, desde el centro hacia el este en ambas provincias. La actividad de la industria petrolera registra en esta cuenca sus inicios desde 1907, con descubrimiento del petróleo en la ciudad de Comodoro Rivadavia. Esta cuenca contiene actualmente los yacimientos con mayor producción de petróleo del país.

## **2. La irreversibilidad en la industria petrolera**

Varios factores condicionan la posibilidad de salida de las inversiones realizadas en empresas de servicios petroleros, estas inversiones no sólo comprenden maquinarias sino también el desarrollo de procedimientos y conocimientos nuevos (similares a inversiones en I+D). Se analizan los principales a continuación:

### **2.1 Ubicación**

Las cuencas petrolíferas se encuentran en lugares generalmente poco accesibles y alejados de los centros urbanos. La movilidad de los recursos en ese sentido es baja y costosa. Esta característica puede observarse en las épocas de crisis en donde gran cantidad de maquinarias suelen ser abandonadas en los yacimientos por el alto costo de su traslado.

### **2.2 Naturaleza de la maquinaria**

Las máquinas utilizadas para los servicios petroleros suele tener una especificidad que no le permite usos alternativos, por lo cual su valor de reventa en épocas de baja actividad es nulo.

### **2.3 Plazos de Contratación**

Las contrataciones de empresas para los servicios relacionados al petróleo suele tener una estabilidad de hecho prolongada en el tiempo, esto si bien puede ser positivo para el mantenimiento de la actividad, genera una dependencia en las contrataciones que fomenta la irreversibilidad de las inversiones, dada la extrema adaptación y correlación a las solicitudes del cliente (Operadoras en posición monopsonía)

### **2.4 Conocimiento local**

Las características geográficas y geológicas del terreno brindan una posibilidad de especialización a los servicios prestados por PyMEs, aunque por el otro lado también aumenta la irreversibilidad de las inversiones en conocimientos y procedimientos específicos.

### 3. DEL MODELO BÁSICO A LAS VARIABLES CONTRASTABLES

A continuación se analizarán varios modelos y la posibilidad de extracción de variables contrastables o que deben estimar su comportamiento para la construcción de modelos adaptables a la industria de servicios petroleros.

#### 3.1 Breve resumen del modelo básico de Merton

El modelo de Merton para valuación de activos que actúan en determinados mercados tiene en cuenta los costos sombra derivados de la falta de información, es un derivado del conocido CAPM para contextos de información incompleta.

$$R_V - r = \beta_V [R_m - r] + \lambda_V - \beta_V \lambda_m$$

Donde

$R_V$  = el rendimiento de equilibrio esperado de V.

$R_m$  = el rendimiento de equilibrio esperado del portafolio de mercado.

$r = 1 +$  la tasa libre de riesgo.

$$\beta_V = \text{cov}(R_V / R_M) / \text{var}(R_M).$$

$\lambda_V$  = costo sombra agregado al equilibrio por el activo V.

$\lambda_m$  = costo sombra promedio de la información incompleta para todos los activos del mercado.

*Variables contrastables en el Modelo básico de Merton*

En este caso general las variables que pueden ser obtenidas del análisis de casos ex post son  $\lambda_V, \lambda_m$ , dado que las restantes variables pueden obtenerse de análisis de la industria o la economía en general. Así las tasas de rendimientos de mercado, libre de riesgo y del activo o proyecto analizado, pueden estimarse de los datos económicos regionales, al igual que el coeficiente  $\beta_V$

#### 3.2 La oportunidad de invertir y el precio de los activos

Si un proyecto con una inversión irreversible I y un valor en casos de ejercer la opción de invertir V, tomado como una opción de compra perpetua, tendrá una dinámica en su valor de

$$dV / V = \alpha dt + \sigma dz$$

donde  $\alpha$  es la tasa instantánea de rendimiento,  $\sigma$  la desviación típica del proyecto y  $dz$  es un movimiento Browniano geométrico.

Si valuamos este portafolio en comparación con un activo  $X$  perfectamente correlacionado con  $V$ , nos queda

$$dX / X = \mu dt + \sigma dz$$

$\mu$  es el rendimiento esperado de este activo, y comparando con el proyecto  $V$ ,  $\delta = \mu - \alpha$  y representa el costo de oportunidad de demorar la inversión.

$C(V)$  es el valor de la opción de invertir de la empresa, y se expone el siguiente portafolio: se mantiene la opción de valor  $C(V)$  y se vende a corto<sup>1</sup>  $C_V$  unidades del proyecto cuyo subíndice indica la derivada parcial respecto de  $V$ , el valor del portafolio es:

$$P = C - C_V V$$

El rendimiento de este portafolio es:

$$dC - C_V dV - \delta V C_V dt$$

teniendo en cuenta que la expresión  $\delta V C_V$  es el pago período, donde  $\delta V$  refiere a los dividendos y que para evitar el riesgo de arbitraje el valor de este portafolio debe ser la tasa libre de riesgo. Sin embargo existen costos de información que integrado en la opción y el activo subyacente debe ser igual a  $r + \lambda_V$  y  $r + \lambda_C$  respectivamente. Estos parámetros representan costos hundidos, que son necesarios antes de ingresar al proyecto, con relación a la información acerca de la oportunidad de invertir. Asumido esto el rendimiento puede expresarse:

$$dC - C_V dV - \delta V C_V dt = (r + \lambda_C) C dt + (r + \lambda_V) V C_V dt$$

Asumiendo que la posición cubierta está permanentemente balanceada y la diferenciabilidad de  $dC$ , utilizando la expansión de series de Taylor y luego una extensión del lema de Itô, tendremos una expresión que modifica la Fórmula de Black y Scholes, en la que la tasa de interés es ajustada por el efecto de la información incompleta de  $C$  y  $V$ .

---

<sup>1</sup> "go short" en la expresión en el idioma original.

$$\frac{1}{2}C_{VV}\sigma^2V^2 + (r + \lambda_V - \delta)VC_V - (r + \lambda_C)C = 0$$

Si limitamos esta ecuación con las condiciones que permitan resolver la opción de oportunidad de invertir, encontraremos un valor  $V^*$  del proyecto en el cual es óptimo invertir. En ese momento la empresa recibe  $V^* - I$ . Por lo que la solución queda determinada por:

$$V^* = \beta I / (\beta - 1) \text{ y } \alpha = (V^* - I) / (V^{*\beta})$$

siendo 
$$\beta = \frac{1}{2} - (r - \delta - \lambda_V) / \sigma^2 + \left\{ \left[ (r - \delta - \lambda_V) / \sigma^2 - \frac{1}{2} \right]^2 + 2(r + \lambda_C) / \sigma^2 \right\}^{0.5}$$

Este valor maximiza el valor de mercado de la empresa y representa la regla óptima de inversión en presencia de costos de información incompleta. La empresa invertirá cuando  $V > V^*$ , dado que cuando  $V < V^*$  es  $V < I + C(V)$  es decir el proyecto no cubre todos sus costos. El valor crítico  $V^*$  es una función creciente respecto de la volatilidad (con los costos de información fijos), aunque cuando  $\delta$  aumenta el valor crítico decrece.

Establecidas estas relaciones la solución de un caso específico se realiza numéricamente por el establecimiento de los parámetros y el cálculo consecuente de  $C(V)$  hasta hallar el valor crítico  $V^*$ .

Este modelo básico puede aplicarse a otros casos, en donde interactúen otros costos hundidos e incertidumbre.

### **Variables contrastables en la decisión de invertir y el precio de los activos**

Tal como sucede en el modelo básico de Merton, las variables que pueden obtenerse mediante el análisis de casos ex-post son las relativas a los costos sombra de la información acerca del mercado y del proyecto, en este caso  $\lambda_V$  y  $\lambda_C$ . Las demás variables pueden estimarse por el análisis del contexto y la industria, incluida la diferencia de rendimientos con el activo correlacionado  $\delta$ .

### **3.3 La decisión de inversión y el valor de proyecto con información incompleta**

Si tomamos el caso anterior y modificamos que en vez del valor global de proyecto sea una variable aleatoria, éste lo sea porque el precio de venta del cual

depende el proyecto sea la variable con camino aleatorio. Tendríamos un precio  $P$  con una dinámica:

$$dP/P = \alpha dt + \sigma dz \text{ y } \delta = \mu - \alpha$$

Cuando el precio refiere a una *commoditie* almacenable  $\delta$  representa el rendimiento marginal neto de la actividad de almacenar. Es decir la diferencia entre costos y beneficios de almacenar. Los costos de producción medios y marginales son constantes e iguales a  $co$

El movimiento del proyecto es el que sigue:

Si  $P < co$ , el proyecto se detiene, puede volver a empezar cuando  $P > co$ .

El proyecto produce una unidad por período.

El costo hundido es  $I$  y el proyecto es tomado como una perpetuidad.

Este proyecto puede ser estudiado como una serie de opciones en donde se paga  $co$  y se recibe  $P$ . La optimización estará dada por la determinación del precio crítico  $P^*$  a partir del cual la empresa debe invertir.

Siguiendo un proceso similar al del modelo básico de Merton la solución tiene dos partes de acuerdo con la posición de  $P$  respecto de  $co$

$$V(P) = A_1 P^{\beta_1} \text{ si } P < co$$

$$V(P) = A_2 P^{\beta_2} + (P/\delta) - (co/r) \text{ si } P \geq co$$

donde:

$$\beta_1 = \frac{1}{2} - \left[ (r - \delta - \lambda_p) / \sigma^2 \right] + \left\{ \left[ (r - \delta - \lambda_p) / \sigma^2 - \frac{1}{2} \right]^2 + 2(r + \lambda_v) / \sigma^2 \right\}^{0.5}$$

$$\beta_2 = \frac{1}{2} - \left[ (r - \delta - \lambda_p) / \sigma^2 \right] - \left\{ \left[ (r - \delta - \lambda_p) / \sigma^2 - \frac{1}{2} \right]^2 + 2(r + \lambda_v) / \sigma^2 \right\}^{0.5}$$

$$A_1 = \left\{ \left[ r - \beta_2(r - \delta) \right] / r\delta(\beta_1 - \beta_2) \right\} co^{(1-\beta_1)}$$

$$A_2 = \left\{ \left[ r - \beta_1(r - \delta) \right] / r\delta(\beta_1 - \beta_2) \right\} co^{(1-\beta_2)}$$

Vemos en el desarrollo de la solución que si  $P < co$ , el proyecto está inactivo y el valor de la opción de la empresa es  $A_1 P^{\beta_1}$ . Si el precio se incrementa y  $P \geq co$  y el valor presente del futuro flujo de fondos es  $(P/\delta) - (co/r)$ , dado que se trata de dos perpetuidades, si el precio nuevamente cayera el valor de la opción es  $A_2 P^{\beta_2}$ . La solución a un caso concreto de este tipo se da por el cálculo numérico de los valores estimando, por ejemplo, alternativas de  $\sigma$ .

### 3.4 Caso alternativo sobre la decisión de inversión y el valor del proyecto con información incompleta

Si sobre la base de los casos anteriores realizamos un cambio en la relación de los pagos futuros a recibir y los asociamos como una función del precio, tendríamos una expresión como la que sigue, cuya solución es el precio  $P^*$ , a partir del cual es óptima la inversión:

$$\left[ A_2(\beta_1 - \beta_2) / \beta_1 \right] (P^*)^{\beta_2} + (\beta_1 - 1) / (\beta_1 \delta) P^* - (co / r) - I = 0$$

donde

$$\beta_1 = \frac{1}{2} - \left[ (r - \delta - \lambda_p) / \sigma^2 \right] + \left\{ \left[ (r - \delta - \lambda_p) / \sigma^2 - \frac{1}{2} \right]^2 + 2(r + \lambda_c) / \sigma^2 \right\}^{0.5}$$

$$\beta_2 = \frac{1}{2} - \left[ (r - \delta - \lambda_p) / \sigma^2 \right] - \left\{ \left[ (r - \delta - \lambda_p) / \sigma^2 - \frac{1}{2} \right]^2 + 2(r + \lambda_c) / \sigma^2 \right\}^{0.5}$$

En este modelo un incremento de  $\sigma$  produce un incremento del valor de la empresa para cualquier precio, ello por tratarse de un proyecto con un conjunto de opciones de compra en las que un incremento de la volatilidad conlleva un aumento en el valor de las opciones.

El cálculo se hace, al igual que en los ejemplos anteriores, numéricamente con valores de cada una de las variables y determinando escenarios comparativos de  $\sigma$ .

*Variables contrastables en la decisión de inversión y el valor del proyecto con información incompleta, caso base y alternativo*

El caso base y su caso alternativo son aplicables a la industria pero no a los servicios de las empresas de la actividad petrolera, dado que necesita la propiedad de la producción de hidrocarburos o bien el pago en especie por sus servicios. Estas características le permitirían aprovechar las ventajas del almacenamiento o retención de la producción en los tiempos de baja del precio. Este tipo de modelo es útil para operadoras, o bien para empresas encargadas del almacenaje y transporte por medio de oleoductos o terminales marítimas. Su utilidad para las empresas prestadoras de servicios petroleros estaría dada por el conocimiento del proceso de decisión del nivel de actividad en las operadoras.

En cuanto a las estimaciones de variables contrastables es similar a los anteriores y los casos ex post de análisis nos brindarían datos acerca de  $\lambda_v$  y  $\lambda_p$

### **3. 5 Otro modelo de movimiento de precios y breve análisis de modelos similares**

Pueden establecerse comportamientos del precio diferentes a un movimiento aleatorio totalmente libre. Pueden darse casos de movimientos aleatorios de oscilación ante un valor denominado "normal", cuyo proceso es el que sigue:

$$dP / P = k(P' - P)dt + \sigma dz$$

donde el precio  $P$  tiende a revertirse al valor normal  $P'$ .

Existen también otros modelos de valuación de la irreversibilidad que proponen la evaluación de proyectos, tal como relacionados a la histéresis de los proyectos de las industrias extractivas, los costos compuestos de información de los programas de inversiones secuenciales, que no necesariamente guardan relación con los costos de información analizados en este trabajo. Existen modelos similares a los analizados que se basan en los testeos para desarrollos de nuevos productos, aunque pueden no tener un comportamiento estocástico en los costos

## **4. CONCLUSIONES**

La búsqueda de uso o adaptación de los modelos teóricos de valuación de proyectos irreversibles y con información incompleta, presenta el desafío de extraer variables para ser estimadas o contrastadas.

En el presente trabajo se determinan qué tipo de variables de los modelos pueden ser analizadas mediante el procesamiento de información de casos ex post y cuáles pueden ser tomadas del contexto general de la economía o de la industria en particular.



Este primer paso de identificación permitirá la elaboración de modelos que permiten valorar los proyectos de empresas de servicios petroleros, en los cuales la incertidumbre e irreversibilidad coexisten e influyen en el desempeño de las mismas.

### **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

Dixit, AK y Pindyck, RS (1994), *Investment under uncertainty*, vol. 15, PrincetonUniversity Press Princeton, NJ.

Paxson, D (2003) *Real R&D options*, Elsevier Science, Oxford.