Anexo A

Un modelo de producción petrolera con poder de mercado

Luis Carlos Palacios

5 Julio 2007

Introducción

Este anexo es un complemento al artículo de Palacios (2007), *La política económica: problemas y limitaciones*. Su objetivo es presentar un modelo de producción petrolera donde existe poder de mercado de la OPEP. El modelo expuesto contribuye a la idea, expresada en el artículo mencionado, según la cual los precios del petróleo en el corto y mediano plazo tenderían a mantenerse en niveles altos. Una estructura de mercado está caracterizada por la cartelización cuando un número de productores importantes del mercado acuerdan cooperar para fijar niveles de producción con un objetivo de precios, constituyendo un *cártel*. Los cárteles pueden ser internacionales y se parte del supuesto de que en el mercado internacional del petróleo funciona el cártel de la OPEP.

Obviamente una condición para que un cártel tenga éxito es que exista la organización de los productores asociados, con suficiente fuerza y coherencia para decidir políticas e instrumentarlas. Sin embargo, el aspecto fundamental y en el cual se basa la coherencia de la organización, es que la cooperación entre los miembros del cártel pueda dar resultados beneficios a los asociados, y son estos beneficios el incentivo fundamental que da coherencia al cártel.

Específicamente, se requiere que la coordinación de los productores al asociarse en un cártel les otorgue la posibilidad de conseguir poder de mercado potencial o poder de monopolio potencial. Ello permite al cártel fijar su nivel de producción y obtener un precio relativamente alto. En este sentido, el posible éxito del cártel depende de las condiciones del mercado.

Por un lado, es importante que la demanda global del bien (en este caso el petróleo) no sea elástica al precio, es decir, que la cantidad demandada no se reducirá en forma significativa por el alza del precio del bien, al menos en el corto y mediano plazo. Si, como es usual, la función de demanda invertida se representa colocando los precios en el eje de las ordenadas y las cantidades en el eje de las abscisas, la curva de demanda tendrá una pendiente negativa muy inclinada. Por el otro, los productores asociados en el cártel deben controlar una parte muy importante de la oferta global o, en su defecto, la oferta de los productores que no pertenecen al cártel no debería ser elástica; esto es, la cantidad de oferta (del bien) extra que estos productores pueden colocar en el mercado por el alza de precios debe ser relativamente reducida. Gráficamente, la función de oferta de los productores no pertenecientes al cártel sería una curva con pendiente positiva precio-cantidad de oferta con una pendiente muy inclinada. Además, la posibilidad de sustitutos debería ser remota.

En el mercado mundial del petróleo estas condiciones se cumplen en términos generales, al menos en el corto y mediano plazo. Aunque la oferta OPEP representa alrededor del 37% de la oferta mundial del petróleo, las funciones de demanda-precio y oferta-precio son muy inelásticas en el corto y mediano plazo.

El modelo

Caso determinístico

El análisis de optimización dinámica que se presenta sigue el enfoque tradicional utilizado por Hotelling(1931) y más recientemente por Stiglitz (1976), adecuándolo a la concepción de un mercado donde existe un cártel.

De acuerdo a esta concepción, en el mercado mundial de petróleo existirían dos tipos de productores, los productores "competitivos", cuya función de oferta-precio es S_c, y los productores OPEP, los asociados en el cártel. La función de demanda mundial o global es D_T. Las dos funciones son muy inelásticas. La demanda de la OPEP, D_{opep}, es la diferencia entre la demanda total y la oferta competitiva, $D_{opep} = Q_{0pep} = D_T - S_c$. Ello implica que la demanda de la OPEP es más elástica (elasticidad demanda precio) que la demanda mundial o global.

La función de demanda de la OPEP se representa por una función inversa precio demanda,

$$P = P(Q_{opep}) \quad , \qquad (1)$$

Donde $(dP/dQ) < 0$, o $P' < 0$. Es decir, el aumento de la producción reduce el precio.

La función de costos de producción es,

$$C = C(Q_{opep}) \qquad (2)$$

Donde $C' > 0$ Es decir, los costos son crecientes al aumentar la producción.

Los beneficios son los ingresos (el precio por la cantidad) menos los costos, esto es,

$$\pi = P.Q_{opep} - C = P(Q_{opep}).Q_{opep} - C(Q_{opep})$$
(3)

Luego, el problema dinámico del cártel se puede plantear como el de hallar la ruta de producción $Q_{opep}(t)$ tal que maximice los beneficios en el lapso que dure la explotación petrolera. Esto es,

Maximizar $V = \int_0^T \left[P(Q_{opep}).Q_{opep} - C(Q_{opep})\right].e^{-\rho t}dt$

(4)

Donde los ingresos son $I = P.Q_{opep}$.Sujeto a la restricción según la cual la cantidad producida reduce el stock de reservas naturales de la OPEP, S_{opep}

$$\dot{S}_{opep} = -Q_{opep}$$

Y

$S_{opep}(0) = S_0$, donde T es libre, $S_{opep}(T) \geq 0$. También se podría plantear el problema como,

Maximizar $V = \int_0^\infty \left[P(Q_{opep}).Q_{opep} - C(Q_{opep})\right].e^{-pt}dt$

(4')

Sujeto a,

$$S_o = \int_0^\infty Q_{opep}dt$$

En los funcionales (4) y (4'), los beneficios se descuentan a la tasa ρ , lo que indica que los beneficios que se obtiene hacia el futuro tienen menos peso o importancia que los que se obtienen en el presente.

Al abordar el problema como un problema de control óptimo, el Hamiltoniano o función Hamiltoniana sería,

$$H = \pi\left[I(Q_{opep}) - C(Q_{opep})\right].e^{-pt} - \lambda Q_{opep}$$
(5)

Donde el precio por la cantidad producida se expresa como el ingreso I . En este Hamiltoniano la variable de control es la cantidad de producción. Q_{opep}. La variable de estado es el stock de reservas naturales S, y la variable auxiliar λ es la variable de coestado. La variable de control afecta la variable de estado según la restricción establecida en el integrando a maximizar, es decir a través de la dinámica del stock de las reservas naturales. Para maximizar el Hamiltoniano respecto a la variable de control, se hace su primera derivada igual a cero,

$$\partial H / \partial Q = I_q(Q).e^{-\rho t} - C_q(Q).e^{-pt} - \lambda = 0 \qquad (6)$$

Y esta condición se puede reescribir,

$$I_q(Q) - C_q(Q) = \lambda.e^{\rho t} \qquad (6')$$

La condición de maximización (6') indica que para maximizar el beneficio la diferencia entre el ingreso marginal (de los productores asociados en el cártel de la OPEP) menos su costo marginal debe crecer a la tasa ρ , y donde la variable auxiliar asociada con la variable de estado, λ, análoga a un multiplicador Lagrangiano, representa el precio de la diferencia inicial. Esta es la condición del monopolista en un contexto dinámico, análoga a la condición de estática comparativa donde el ingreso marginal debe ser igual al costo marginal. Si la tasa de descuento temporal es la tasa de interés, r la diferencia entre el ingreso marginal y el costo marginal debe crecer a esta tasa.

La condición según la cual la primera derivada del Hamiltoniano respecto a la variable de coestado λ es igual a la dinámica de la variable de estado S, sólo replantea la condición dinámica de esta variable, colocada como una restricción en el problema de maximización,

$$\partial H / \partial \lambda = \dot{S}_{opep} = -Q_{opep}$$

Y la ecuación de movimiento de la variable de coestado debe ser igual al negativo de la derivada parcial del Hamiltoniano respecto a la variable de estado,

$$\dot{\lambda} = -\partial H / \partial S = 0$$

Lo que implica que $\lambda(t)$ es una constante.

Expresando la tasa de crecimiento de la condición (6') como $r_{(IM-CM)} = \rho$ se puede reescribir esta condición,

$$\frac{IM}{IM-CM} r_{IM} - \frac{CM}{IM-CM} r_{CM} = \rho$$

El crecimiento de la demanda OPEP esta dado por,

$Q_{opep} = e^{gt} Q_{opep}(P)$, donde $Q' < 0$.

Tomando logaritmos a ambos lados se tendría,

$$\ln Q_{opep} = gt + \ln Q_{opep}(P)$$

Y la tasa de crecimiento de la producción OPEP se obtiene al diferenciar con respecto al tiempo,

$$r_Q = \frac{d}{dt} \ln Q_{opep}(P) = g + \frac{d}{dt} \ln Q_{opep}(P)$$

Desarrollando,

$$r_Q = g + \frac{1}{Q_{opep}(P)} . Q'_{opep}(P) \frac{dP}{dt} = g + \frac{Q'_{opep}(P).P}{Q_{opep}(P)} \frac{dP/dt}{P}$$

De donde se obtiene que la tasa de crecimiento de la producción es igual a g más la elasticidad de la demanda multiplicada por la tasa de crecimiento del precio,

$$r_Q = g + \varepsilon . r_p$$

Remplazando la elasticidad por su valor absoluto E, la tasa de crecimiento de la producción quedaría,

$$r_Q = g - E r_p$$

Como el ingreso marginal y el precio están relacionados por la ecuación,

$$IM = P(1 - \frac{1}{E})$$

Si la elasticidad se considera constante, la tasa de crecimiento de la producción OPEP sería,

$$r_Q = g - E.r_{IM} = g - E.r_{CM} \qquad (7)$$

La tasa de crecimiento de la producción OPEP es igual a g menos la elasticidad en valor absoluto multiplicada por la tasa de crecimiento del ingreso marginal o costo marginal. Como la elasticidad demanda precio de la OPEP E es mayor a la elasticidad de demanda mundial, la tasa de crecimiento de la producción OPEP es inferior a la del sector competitivo.

Caso estocástico

El problema se puede plantear tomando en cuenta un comportamiento estocástico de los precios del petróleo,

Se supone que la dinámica de los precios sigue un movimiento Browniano Geométrico,

$$dP = \mu P dt + \sigma_1 P dz_1 \qquad (8)$$

Ello quiere decir que la tasa de variación dp/p tiene un componente de tendencia instantáneo μ y una tasa de varianza instantánea σ_1^2, donde z_1 es un proceso Wiener básico (dz_1 tiene una distribución normal con una media de cero y varianza de dt).

Suponiendo que el crecimiento de la demanda sea análogo al caso determinístico, determinado por $Q_{opep} = e^{gt}.Q_{opep}(P)$, la tasa de crecimiento de la producción o extracción sería,

$$\ln Q_{opep} = gt + \ln Q_{opep}(P)$$

Diferenciando, al igual que en el caso determinístico, se obtiene,

$$r_Q = g - E.r_p$$

Tomando en cuenta (8), definiendo $G = \ln P$ y utilizando el lema de Ito se tendría,

$$r_Q = g - E.((\mu - \frac{1}{2}\sigma_1^2)dt + \sigma_1 dz_1) \qquad (9)$$

Según la ecuación (9), la tasa de producción (o extracción) es afectada negativamente por la elasticidad de la demanda en valor absoluto E, la tendencia de variación de los precios (una tasa alta disminuye la producción) descontando el efecto de varianza que aparece con signo negativo, $(\mu - \frac{\sigma_1^2}{2})$, consecuencia del carácter estocástico que tiene el comportamiento de los precios , y también por la desviación estándar $\sigma_1.dz_1$,el cual es un proceso Wiener básico. Como $dz_1 = \sqrt{dt}$, a medida que se consideran horizontes temporales más amplios aumenta la incertidumbre y la tasa de producción se afecta en forma negativa.