Documento No. 10

**EXTRACCION OPTIMA DE PETROLEO Y
ENDEUDAMIENTO EXTERNO:
EL CASO DE MEXICO**

Por

Ernesto Zedillo

Junio, 1979.

Versión preliminar. No citar en publicaciones sin permiso del autor. El autor manifiesta su reconocimiento a José Córdoba por los valiosos comentarios que ha hecho a lo largo de este trabajo. Los aspectos computacionales de este proyecto han estado a cargo de Gilberto Calvillo a quien el autor manifiesta su agradecimiento. Javier Marqués ha proporcionado también valiosos comentarios por los que el autor expresa su gratitud.

Las ideas contenidas en el presente ensayo son responsabilidad exclusiva del autor y no reflejan la posición del Banco de México, S.A.

EXTRACCION OPTIMA DE PETROLEO Y
ENDEUDAMIENTO EXTERNO:
EL CASO DE MEXICO

Por

Ernesto Zedillo

I. Introducción

En la opinión de muchos, la existencia de considerables reservas petroleras¹ ha ampliado la posibilidades de la economía mexicana. Gracias a la comprobación de vastos acervos de tal recurso, se vuelve a hablar en México de rápidas tasas de crecimiento no sólo para el corto plazo sino como un hecho altamente probable en el mediano y largo plazo. Los rendimientos económicos esperados de la explotación del petróleo son percibidos como la variable que vendrá a romper la limitante, supuestamente estructural, que el desequilibrio externo ha impuesto sobre la evolución de la economía nacional².

La extracción y venta externa de petróleo es ahora una realidad que se empieza a manifestar en diferentes sectores de la economía nacional. La inversión del sector petrolero alcanzará este año poco más del 32 por ciento de la inversión pública total y la contribución de las exportaciones de petróleo al total de ingresos en cuenta corriente será cercana al 30 por ciento.

Aunque es innegable que el potencial petrolero ha venido a transformar las perspectivas financieras, y por ende de crecimiento del país, cabe preguntarse hasta que punto dicho potencial deberá ser aprovechado directamente en el financiamiento de nuestro desarrollo. En primer lugar, el petróleo es y debe verse como parte de una amplia gama de instrumentos alternativos par la ruptura del cuello de botella externo. Esto es cierto especialmente si consideramos que la misma existencia de

¹ Según la memoria de Labores de PEMEX de 1978, las reservas probadas ascienden a 40 mil millones de barriles.

² El autor ha cuestionado esta percepción en: El Modelo de Acumulación de Capital en México: Algunos problemas, Coyunturas y Perspectivas”, ponencia presentada en el 3er. Congreso Nacional de Economistas, Abril 1979.

reservas energéticas ha aumentado la capacidad de otros instrumentos tales como el endeudamiento público externo. En segundo lugar, debe reconocerse que las decisiones que hoy se tomen sobre la extracción y venta del petróleo afectarán al bienestar de las futuras generaciones de mexicanos. Estas consideraciones sugieren fuertemente que el problema de extracción óptima de petróleo debe analizarse cuidadosamente a la luz de distintos factores.

Así, el objetivo de este documento es el de desarrollar un marco concreto de análisis del fenómeno de extracción óptima de nuestro petróleo, así como el de presentar una solución cuantitativa a dicho problema.

Este reporte comprende:

- a) Una descripción de algunos de los enfoques que se han sugerido para el estudio del problema de la extracción óptima de nuestro petróleo; b) la descripción y formalización del enfoque que aquí se seguirá; y c) la descripción y análisis de los resultantes cuantitativos.

II. Algunos enfoques sobre el problema de extracción óptima del petróleo mexicano.

Parecería natural el describir en primer término la solución que institucionalmente se le ha dado al problema de extracción óptima. Esto, sin embargo, resulta difícil. Aunque PEMEX ha presentado diferentes alternativas de expansión de la capacidad de extracción y de exportación los elementos de racionalidad microeconómica o macroeconómica que pudiesen sustentarlas no se han hecho explícitos. No resulta aventurado afirmar³ que hasta ahora los programas de expansión de PEMEX han seguido más un modelo de crecimiento sexenal de la empresa que un modelo de maximización de utilidades, y que sólo expost se le ha tratado de dar cierta justificación macroeconómica a dichos programas.

De ser correcta la percepción antes anotada, el enfoque “institucional” a la explotación de nuestro petróleo es altamente criticable. Solo bajo condiciones muy especiales, los programas propuestos por PEMEX resultarían en un óptimo social. Dichas condiciones son: a) que el precio real

³. Basándose en los datos que PEMEX ha hecho disponibles y el intercambio de ideas con gentes implicadas en las políticas del sector energético.

del petróleo se mantenga constante a lo largo de un periodo de planeación suficientemente grande; b) que la tasa de interés internacional a la que México puede prestar y/o pedir prestado se mantenga constante a lo largo del mismo periodo; y c) las decisiones de PEMEX –en cuanto a la inversión, producción y financiamiento– son neutrales en el resto de la economía⁴. En la práctica es imposible aceptar que al menos una de las anteriores circunstancias se cumpla y debe pensarse que mientras PEMEX, o la autoridad responsable, no presenten la justificación macroeconómica de sus programas, estos deberán cuestionarse seriamente.

Dentro del sector público ha surgido recientemente una posición alternativa que indirectamente trata de dar una solución económica al problema de extracción óptima.

Barraza, Solís y Rizo⁵. Parten del principio de que cualquiera que sea la extracción de petróleo, los excedentes así derivados deben “transformarse en otras fuentes de ingreso permanente con el fin de asegurar la conservación y transferencia de la riqueza petrolera a las generaciones futuras.

Usando este criterio, la alternativa I de PEMEX es utilizada en dicho estudio para proyectar una senda de crecimiento de la economía, la que después es usada para proyectar el déficit (superávit) en cuenta corriente. Este déficit es ajustado por el flujo de endeudamiento público externo que se toma como una variable exógena. El déficit ajustado por endeudamiento es entonces comparado con el excedente de divisas de PEMEX. A partir de esta comparación se evalúa la conveniencia de la mencionada alternativa I.

El anterior procedimiento tiene dos grandes atractivos: a) Incorpora explícitamente un criterio de distribución intergeneracional de riqueza; b) Cuestiona sobre serias bases macroeconómicas el enfoque “institucional”. No obstante estas virtudes, también debe reconocerse que el estudio no resuelve el problema de extracción óptima. Tomar el endeudamiento público externo como exógeno es obviamente inapropiada, ya que la interacción entre esta variable y la extracción de petróleo es de lo más inmediato. Sendas de crecimiento semejantes a las derivadas a partir de la transformación de excedente petrolero en capital físico y humano podrían obtenerse incurriendo en un mayor endeudamiento externo y menor exportación de petróleo dejando a la sociedad con una mayor riqueza

⁴ En el sentido que afecten la asignación de recursos que en ausencia de PEMEX existiría.

⁵ En “Opciones de Política, 1979-1982”, documento NAFINSA-BANCO DE MEXICO, abril 1979.

neta. Por esta razón el enfoque de “Opciones de Política”, aunque atractivo y de gran valor empírico, parecería perfectible como sus propios autores lo advierten.

A un nivel teórico, J. Córdoba⁶ ha ofrecido un excelente tratamiento del problema de extracción óptima de nuestro petróleo. Utilizando un modelo dinámico de equilibrio general donde se maximiza el valor de un perfil intertemporal de consumo, Córdoba modela ingeniosamente las interacciones teóricamente más relevantes del sector petrolero con el resto de la economía, y deriva las condiciones macroeconómicas que deberían satisfacerse en un programa óptimo de extracción. Su análisis muestra claramente: a) el aspecto intergeneracional del problema de extracción; b) los impactos intersectoriales que conlleva la actividad del sector petrolero. c) la interacción entre distintas alternativas de financiamiento externo.

Conceptualmente hay poco que agregar al trabajo de Córdoba⁷. Su tratamiento establece claramente el carácter de equilibrio general que tiene la problemática del petróleo. Sin embargo, esta misma característica de su enfoque impone ciertas limitaciones a su aplicación empírica.

El número de variables que intervienen y la complejidad de las condiciones de optimalidad que deriva, apuntan hacia un enorme esfuerzo de obtención de información y cómputo si se le quiere dar una solución numérica a su análisis. No es aventurado concluir que si el problema de extracción óptima se quiere reducir a dimensiones más manejables desde el punto de vista numérico, un planteamiento, menos ambicioso conceptualmente, pero más simple tiene que desarrollarse.

III. Un modelo alternativo.

En esta sección se propone un enfoque conceptual alternativo al problema de extracción óptima. El modelo a desarrollar se centra en dos ideas fundamentales: a) la consideración explícita de la exportación del petróleo como uno de varios instrumentos alternativos para el financiamiento de nuestro desarrollo; y b) la consideración explícita de un criterio de maximización intertemporal de la riqueza nacional.

⁶ En “Exportación Óptima de Reservas Petroleras en un Contexto Macroeconómico: Reflexiones Acerca del Régimen Impositivo de PEMEX”, documento de investigación No. 8, Banco de México.

⁷ En su segundo caso macroeconómico, una interacción más directa entre la extracción de petróleo y la importación de bienes de consumo parecería aconsejable.

El punto de partida es suponer que el problema de planificación del desarrollo –o crecimiento óptimo, en términos neoclásicos– se puede descomponer en dos partes.

La primera parte consiste en decidir una senda de crecimiento óptimo de la economía ignorando la restricción del financiamiento externo. Es decir, se supone que los planificadores económicos resuelven el perfil intertemporal de crecimiento del producto, del consumo –y por ende del ahorro interno–, la inversión y demás variables relevantes sin prestar atención a la limitante del sector externo. Este perfil es decidido, desde luego, atendiendo a objetivos de empleo, crecimiento sectorial, distribución del ingreso, etc. El periodo de planificación así definido se supone finito y realísticamente largo. Es decir, a diferencia del modelo neoclásico, se acepta explícitamente que los mecanismos de planificación hoy diseñados e implementados no serán vigentes o aceptables más allá de un plazo razonable, después del cual el modelo de desarrollo socialmente aceptable puede ser fundamentalmente diferente al de nuestra generación.

En la segunda parte, y una vez que senda óptima de crecimiento es decidida, se procede a resolver el problema de financiamiento externo. De nuevo simplificando, se supone que existen dos instrumentos alternativos para la solución de dicho problema: la venta externa de un activo nacional –el petróleo– o la emisión externa de un pasivo nacional –la deuda pública externa–. Así en esta segunda parte se plantea y resuelve el problema de extracción óptima del petróleo ya no dan más para el sub-periodo estrictamente de planificación, sino también para un horizonte que va más allá de dicho sub-periodo estrictamente de planificación, sino también para un horizonte que va más allá de dicho sub-periodo. Es decir, que aunque se reconoce que un modelo de desarrollo hoy adoptado puede ser vigente solo para un plazo limitado, las decisiones así tomadas afectarán el bienestar de las generaciones que vivan en los años posteriores a dicho sub-periodo de planeación.

El enfoque aquí propuesto consiste en tomar como dada la primera parte del mencionado problema del desarrollo y procede a resolver explícitamente la segunda, es decir la correspondiente al dilema extracción endeudamiento externo. Es decir, se supone resuelta la senda óptima de consumo, acumulación de capital físico y humano, etc., para un periodo de T años y se procede a obtener la estrategia óptima de financiamiento externo para dicha senda, tomando en cuenta el bienestar de la población que vivirá en periodos posteriores a los T años. Es importante notar que en este

procedimiento no está en juego una transferencia intergeneracional de consumo en el sentido tradicional de mayor ahorro entre hoy y el año T, para mayor consumo después del año T. El aspecto intergeneracional está dado por el legado que la generación que viva hasta el año T deje a las siguientes. Dado que la acumulación de capital físico y humano se toma como dada para el sub-periodo de planeación (0, T) y los dos únicos componentes del “balance” nacional que serían así afectados son el valor de la riqueza petrolera y el valor de la deuda pública externa es claro que estrategias alternativas de financiamiento externo tendrán efectos diferentes sobre tal balance nacional.

Concretamente el problema se plantea como el de escoger una estrategia de exportación de petróleo y endeudamiento externo que maximice la riqueza existente al final del sub-periodo de planeación. Definamos:

$$W_T = A_T + VRP_T - D_T$$

W_T : riqueza nacional en el año T

A_T : valor de los componentes de la riqueza nacional invariantes a la estrategia de financiamiento externo.

VRP_T : valor de la riqueza petrolera existente en el año T.

D_T : valor de la deuda pública externa en el año T.

Dada la naturaleza de A_T , el problema se reduce a maximizar la diferencia de los dos últimos términos, que estará obviamente determinada por la estrategia de financiamiento externo.

En la siguiente sección se presenta una formalización del enfoque antes descrito; serán entonces más claras sus características e implicaciones. Baste mencionar tres ventajas que tal formación ofrece: a) Tal como se ha venido dando el proceso de programación económica en México –v.gr.: el Plan Nacional de Desarrollo Industrial y Plan Global de Desarrollo– un modelo que resuelve el problema de extracción óptima al mismo tiempo que respete las prescripciones de tales planes parecería útil; b) La función objetivo a maximizar incorpora explícitamente una variable que

indudablemente afectará el bienestar de generaciones posteriores a la vigencia de dichos planes: su riqueza inicial; c) Al simplificar el problema de la manera descrita, el modelo queda de dimensiones susceptibles al análisis numérico.

Por otro lado, al enfoque propuesto se le debe reconocer una gran deficiencia conceptual: supone que la trayectoria de crecimiento al partir de la cual se optimiza la extracción de petróleo (y el endeudamiento) es invariante a los niveles de actividad de PEMEX. El trabajo de Córdoba antes mencionado prueba desde el punto de vista teórico como un contexto macro la neutralidad del sector petrolero es un mal supuesto. A un nivel más práctico se ve que los programas de producción de PEMEX tendrán efectos multiplicadores positivos en diversos sectores; pero también es cierto que al desarrollar su actividad el sector petrolero, algunas otras áreas de la economía se verán privadas de ciertos recursos –tales como fuerza de trabajo calificada, y algunas materias primas– que forzarán su contracción.

Esta ambigüedad en el efecto multiplicador neto de PEMEX sobre el resto de la economía justifica hasta cierto punto el supuesto de neutralidad aquí adoptado, aunque se reconoce que a mayores niveles de extracción –y menores de endeudamiento– será altamente probable que los objetivos globales de crecimiento se sobrepasen⁸.

IV. Formalización del Enfoque.

En una primera versión, el modelo aquí desarrollado supone que la tasa de expansión de la capacidad productiva de PEMEX es una variable exógena⁹. Definamos¹⁰:

D_t : Deuda pública externa en el período t

R_t : Reservas de petróleo en el período t

q_t : Extracción de petróleo en el período t

k_t : Capacidad de extracción en el período

⁸. En una visión revisada del modelo aquí propuesto se incluyen tales efectos multiplicadores.

⁹. Esto se ha hecho por dos razones: Primero, aunque PEMEX expanda su capacidad productiva, el gobierno todavía podrá limitar la extracción a un óptimo. Segundo, como se verá adelante, el problema se reduce a una sola variable de control lo que facilita enormemente la solución numérica. Sin embargo, una versión con la inversión de PEMEX endógena es ahora en proceso y resultados estarán disponibles en breve.

¹⁰. Siguiendo en lo posible la notación de Córdoba.

v_t : Extracción acumulada al período t

$C_t(q_t, v_t)$: Función de costos corrientes –según supuestos de Córdoba, p. 17–

e_t : Flujo de endeudamiento neto en el período t

P_t : Precio real del petróleo

Y_t : Producto nacional en el período t

X_t : Exportaciones de petróleo en el período t

S_t : Consumo interno de petróleo en el período t

r_t : Tasa de interés sobre la deuda externa en el período t

d_t : Déficit en cuenta corriente del resto de la economía –sector no petrolero– en el período t

δ_t^1 : Coeficiente del contenido importado de los costos corrientes de PEMEX en el período t

δ_t^2 : Coeficiente del contenido importado de los gastos de inversión de PEMEX en el período t .

I_t : Inversión en capacidad –incluyendo gastos de conservación– de PEMEX en el período t

β : Tasa de descuento intertemporal de la generación posterior al año T .

Tratando como un fenómeno continuo en el tiempo, el enfoque propuesto puede presentarse como el siguiente problema de control:

$$(1) \quad \text{Max } W_T = \text{VRP}_T - D_T$$

donde,

$$(2) \quad D_T = D_0 + \int_0^T e_t dt$$

$$(3) \quad \text{VRP}_T = \max \int_T^\infty e^{-\beta(t-T)} q_t(P_t - C_t) dt$$

y,

$$(4) \quad v_t = q_t$$

$$(5) \quad D_t = e_t = d_t + \delta_t^1 q_t c_t + \delta_t^2 I_t + r_t D_t - X_t P_t$$

que usando:

$$q_t = X_t + S_t$$

$$Y_t = d_t + \delta_t^2 I_t + S_t P_t$$

queda

$$(5') \quad e_t = Y_t + \delta_t^1 q_t c_t + r_t D_t - q_t P_t$$

$$r_t = r_0 \frac{\frac{D_t}{Y_t}}{\frac{D_0}{Y_0}} = \alpha_t D_t^2$$

$$\text{donde } \alpha_t = \frac{\frac{Y_0}{Y_t}}{\frac{D_0}{D_t}}$$

$$(7) \quad V_t \leq R_0$$

$$(8) \quad q_t \leq k_t$$

$$(9) \quad q_t \geq 0$$

Usando (1), (3), (5'), (6), e ignorando D_0 , la función objetivo (1) puede reescribirse como

$$(1') \quad \text{Max } W_T = - \int_0^T [Y_t + \alpha_t D_t^2 - q_t (P_t - \delta_t^1 C_t)] dt + \text{VRP}_T$$

El anterior es un problema de control con una variable de control (q_t) y dos variables de estado (D_t , V_t), donde D_t es la función intermedia y VRP_T es la función terminal. La ecuación (6) incorpora un supuesto acerca de la determinación de la tasa de interés, y dice que tasa inicial de interés (r_0) crecerá o disminuirá de acuerdo al comportamiento de la razón de deuda a producto nacional respecto a una razón inicial (D_0/Y_0). La condición (5) es la “restricción presupuestal” del problema. Simplemente dice que la suma del endeudamiento y el excedente de divisas de PEMEX tienen que ser igual al déficit en cuenta corriente del sector no-petrolero más el pago de intereses de la deuda. Gracias a esta restricción el problema se reduce a una sola variable de control ya que una vez determinada q_t , e_t también lo estará.

La función objetivo muestra que la solución al problema de maximización está influida por el valor de la variable de control no sólo en el sub-periodo de planeación global de la economía –hasta el año T ,– sino también por los valores que tome después del año T . Esto es claro al observar la función terminal VRP_T . Esta es una función de valuación de las reservas petroleras en el año T . Como suponemos que no podemos influir en el modelo de desarrollo que se adoptará a partir del año T ,

valuamos las reservas existentes en ese año a través de una función que maximiza el valor presente de las utilidades que generarían dichas reservas. En la maximización de esa función se supone que la capacidad de extracción disponible a partir del período T es igual a la existente en ese año.

Para los propósitos de este reporte, no es necesario presentar la solución analítica al anterior problema de control¹¹. Vale la pena, anotar algunas inferencias que se pueden hacer tan solo de la naturaleza del problema:

a) Mayores (menores) crecimientos en el precio real del petróleo, especialmente a partir del año T, inducirá una mayor (menor) conservación en el sub-periodo del planeación global (O.T).

b) Mayores (menores) tasas iniciales de interés sobre la deuda externa inducirán una menor (mayor) conservación en el sub-periodo de planeación global.

Si se supone que la función de costo unitario no depende de q_t y v_t , sino que es sólo una función del tiempo o constante¹², sólo las variables de estado y de control, así como la tasa de interés son endógenas. Los valores del resto de las variables se determinan fuera del modelo. Aún mas, a excepción de la ecuación (6) el modelo es lineal. Esto último sugiere que el modelo es realmente susceptible de resolverse numéricamente. Para esto, es conveniente transformar el modelo a una versión discreta ya que así quedaría reducido a un problema de programación matemática. Discretizando (1)-(9) y haciendo algunas simplificaciones el modelo es¹³:

$$(I) \quad \max W_T = \sum_{t=T+1}^N \frac{1}{(1+\beta)^{t-T}} [q_t (P_t - C_t)] - D_T$$

s.a.

$$(II) \quad D_t = D_0 + \sum_{j=1}^t e_j \quad t = 1, \dots, T$$

¹¹ Sobre la senda óptima se satisface una condición de Hotelling, así como una condición de transversalidad que es simplemente el programa que rinde el máximo de VRP_T . Estos resultados pueden solicitarse al autor.

¹² Como suponen J. Cremer y M.L. Weitzman, "Opec and The Monopoly Price of World Oil", European Economic Review (1976) 155-164.

¹³ En la versión discreta se suprime que la tasa de interés del período t depende de la razón de deuda a producto del período t-1 y que los intereses del período t se pagan sobre la deuda del período t-1.

$$\begin{aligned}
\text{(III)} \quad & \sum_{j=1}^t q_j + R_t = R_0 & t = 1, 2, \dots, N \\
\text{(IV)} \quad & q_t \leq k_t & t = 1, 2, \dots, N \\
\text{(V)} \quad & q_t - X_t = S_t & t = 1, 2, \dots, T \\
\text{(VI)} \quad & e_t + P_t X_t = d_t + \delta_t^1 c_t q_t + \delta_t^2 I_t + \alpha_t D_{t-1}^2 & t = 1, 2, \dots, T
\end{aligned}$$

V. Estimación del modelo

El término no-lineal de la ecuación (VI) puede ser sujeto a una aproximación lineal reduciéndose así el problema a uno de programación lineal¹⁴. Al hacer esto, la solución numérica del modelo puede obtenerse fácilmente utilizando el algoritmo disponible en el sistema de cómputo del Banco de México.

Ya que los resultados del modelo dependen críticamente de la base de datos utilizada, a continuación se discute como fue ésta integrada.

1. El déficit en cuenta corriente del sector no-petrolero y el consumo interno de petróleo.

Como ya se anotó, el enfoque aquí adoptado supone que el programa de extracción y endeudamiento óptimos es precedido por la adopción una senda óptima de expansión de la economía a la cual se asociará un déficit en cuenta corriente —excluyendo el del sector petrolero— y un consumo interno de petróleo. De acuerdo con esto, se solicitó a los responsables del modelo sobre el cual se basa el Plan Nacional de Desarrollo Industrial una estimación de las variables antes mencionadas¹⁵, así como la trayectoria del PIB que fueron usadas en la simulación del modelo*.

De acuerdo al mismo PNDI el sub-periodo de planeación global se tomó como 1979-1990. El periodo para el cual se valúan las reservas petroleras existentes al año 1990 es 1991-2010.

¹⁴. La función cuadrática que implica D_{t-1}^2 fue aproximada por tres segmentos lineales. Una aproximación con mayor número de segmentos lineales no dio resultados muy diferentes por lo que sólo se usaron tres.

¹⁵. Obviamente el modelo de extracción óptima es un modelo real. Por lo tanto el déficit en cuenta corriente del sector no-petrolero fue proporcionado a precios de 1975 que es el año base para toda las variables no físicas del modelo.

* Como nivel de reserva se tomó el dato oficial mencionado en 1.

Capacidad de Extracción

Para 1979-1982 se tomó la alternativa I de PEMEX:

Millones de Barriles al Año (K_t)	
1979	613.8
1980	757.8
1981	829.4
1982	200.0

Para los años 1983-1990 se supuso que la capacidad de extracción crecerá a la tasa de crecimiento programada para 1979-1982. Esto es del orden del 13 por ciento. Así.

1983	1017.0
1984	1149.1
1985	1298.5
1986	1467.4
1987	1658.1
1988	1873.4
1989	2117.2
1990	2392.6

La capacidad de 1990 será la existente a partir de ese año.

Costos de inversión y corrientes.

Para los costos de inversión –que incluyen conservación– se usó el programa de inversión de PEMEX, a precios de 1975. A partir de ese programa se calculó que el costo de instalar un barril-año de capacidad es de 15.75 dólares. De este modo, para 1979-1982 se usaron los datos de inversión programados por PEMEX para la alternativa I; para los años posteriores, la cifra de 15.75 multiplicada por el incremento en capacidad da la estimación de gastos de inversión.

Para los gastos corrientes de extracción se usó un costo por barril de 0.70 dólares que es una estimación dada en Cremer y Weitzman, p 164. A partir de 1991 a ese costo unitario se agregan 0.10 dólares, que se supone son necesarios para conservar la capacidad instalada.

El coeficiente de contenido importado de los gastos de inversión (δ_t^2) se calculó en 0.40. El coeficiente del contenido importado de los costos corrientes (δ_t^1) se estimó en 0.25. Estos coeficientes se obtuvieron a partir de datos del Banco de México.

Trayectoria de Precios

Este es una variable clave y sobre la que desde luego existe un enorme grado de incertidumbre. Entre el gran cúmulo de pronósticos de precios de petróleo que se han generado, los que merecen una consideración más seria son aquellos que están basados en modelos que al menos consideran tres factores: a) La trayectoria de la demanda mundial; b) La oferta del sector no-cartelizado de la producción mundial; y c) La trayectoria de la oferta de OPEP derivada de un modelo de optimización intertemporal. Una serie de estudios originados en el MIT Energy Laboratory¹⁶ han seguido este enfoque, de los cuales dos conclusiones generales pueden obtenerse:

1. Entre 1975 y 1990 los precios reales del petróleo crecerán poco o nada.
2. Después de 1990 ¹⁷ los precios reales del petróleo crecerán a una tasa más acelerada, quizás cercana al 4 por ciento anual, en promedio.

Cabe examinar como ha resultado la primera parte de la proyección:

Precios Reales del Petróleo por Barril FBO 1974 – 1979

	P_t° ^{1/}	WPUS ^{2/}	P_t
1974	11.40	91.54	12.45
1975	13.86	100.0	13.86
1976	12.82	104.6	12.26
1977	12.74	111.0	11.47
1978	12.74	119.7	10.64
1979	17.00 ^{3/}	131.2 ^{4/}	13.00

^{1/} Para 1974-78 cotizaciones FOB de petróleo de Venezuela.

¹⁶. E. Hnylicza y R.S. Pindyck, "Pricing Policies for a Two-Part Exhaustible Resource Cartel. The Case of OPEC", *European Economic Review* 8 (1976) 139-154; R.X. Pindyck, "Gains to Producers from the Cartelization of Exhaustible Resources", *The Review of Economics and Statistics*; R.S. Pindyck, "Some Long-Term Problems in OPEC Oil Pricing", *Working Paper # MIT-EL 78-028WP*; así como el citado estudio de Cremer y Weitzman.

¹⁷. Normalmente el horizonte de proyección incluye hasta el año 2010.

2/ Índice de precios al mayoreo en E.U.

3/ Estimado como promedio para el año.

4/ Estimado.

Lo anterior es una estimación del precio real pagado por nuestro petróleo. Como se observa, el precio real no solo no ha crecido sino que ha disminuido desde 1975.

Es decir, las proyecciones del MIT-EL pueden también considerarse en el lado optimista.

Para los propósitos de este reporte se supone que entre 1979 y 1990 los precios reales del petróleo crecerán al 1 por ciento anual.

La segunda conclusión es más difícil de evaluar sin embargo, recientemente se han dado algunas circunstancias que sugieren que una proyección en el crecimiento real de los precios del petróleo entre 3 y 4 por ciento después de 1990 puede estar en el lado bajo. La capacidad de extracción en los grandes países productores no está creciendo ni se espera que crezca¹⁸ al ritmo en que se basan las proyecciones del MIT-EL. La capacidad de extracción ahora existente no presenta problemas. Habrá holgura por lo menos hasta finales de los años ochenta. Los cuellos de botella en capacidad de extracción podrían surgir posteriormente.

Debido al grado de incertidumbre el modelo fue simulado para diferentes alternativas de trayectorias de precios posteriores a 1990. Se tomó un rango de tasas promedios de crecimiento anual entre 2.5 por ciento y 10 por ciento.

Tasa de interés real

Esta es una variable acerca de la cual existe un buen grado de incertidumbre, tanto por las variaciones de la tasa de interés nominal a la que México consigue su deuda, como por lo impredecible que es la inflación internacional en el mediano y largo plazo. Un cálculo de la tasa real pagada por México en los últimos once años es:

¹⁸. Ver el número de serie de "Would Financial Markets", Morgan Guaranty Trust Company.

	$i_n^{1/}$	Tasa de inflación ^{2/}	$i_R^{3/}$
1968	5.73	2.4	3.3
1969	5.50	4.0	1.5
1970	6.07	3.6	2.4
1971	5.56	3.3	2.2
1972	5.76	4.5	1.2
1973	4.47	13.1	-5.6
1974	8.32	18.9	-10.5
1975	5.87	9.2	-3.3
1976	7.29	4.6	2.6
1977	8.67	6.3	2.3
1978	8.83	7.3	1.5

1. Calculada como $\frac{(\text{Intereses Deuda Pública Externa})_t}{(\text{Deuda Pública Externa})_t - 1}$

2. Del índice de precios al mayoreo de los E.U. como Proxi de la inflación mundial.

3. Diferencia de la Tasa nominal (i_n) y la tasa de inflación.

A partir de estos datos, se observa que un promedio simple de la tasa real pagada por México sobre su deuda¹⁹ en la última década está ligeramente abajo del cero por ciento. Se toma este hecho como justificación para suponer una tasa inicial de interés real (r_o) del 1 por ciento. También se simula una $r_o = 2.5$ por ciento.

Tasa de descuento intertemporal de la siguiente generación

Sin mayor justificación se toma $\beta = .03$

En resumen, al simular el modelo se variaron los valores de dos variables; la trayectoria de precios y la tasa inicial de interés.

¹⁹. Con las limitaciones obvias del cálculo.

VI. Resultados²⁰.

Sería tedioso tratar de explicar exhaustivamente los resultados que ha dado el modelo en todas sus simulaciones. Solo se indicará la naturaleza de algunas soluciones y los hallazgos más robustos.

La trayectoria de la variable de control, entre 1979 y 1990, para distintos valores de P_t y r_o se incluye en las gráficas adjuntas. Las líneas punteadas representan la trayectoria de capacidad (K_t) y consumo interno (S_t) la línea continua representa la trayectoria óptima de extracción. Cada gráfica incluye el supuesto correspondiente al crecimiento real de los precios posterior a 1990-identificado con la variable π -, la tasa inicial de interés, el valor de la función objetivo –en millones de dólares de 1975–, y el valor terminal de la deuda pública externa también en millones de dólares de 1975.

Prestando primero atención el conjunto de simulaciones que suponen $r_o = .01$, se observa que para π '5 menores al 6 por ciento la trayectoria óptima resulta ser la de extracción a máxima capacidad. Una tasa de crecimiento real en los precios igual al 6 por ciento aconseja ya producir solo para el consumo interno en 1979. Los resultados varían drásticamente al considerar una π del 7 por ciento, ya que en ningún año es óptimo utilizar plenamente la capacidad de extracción. Aún más, para el primero y los últimos cuatro años, la extracción óptima es sólo lo indispensable para satisfacer el consumo doméstico. Obviamente, este patrón se acentúa con π 's mayores. Para $\pi = .10$ la estrategia óptima es no exportar petróleo en ningún año.

Desde luego, una mayor tasa de interés real induce un patrón menos conservador del petróleo. Sólo cuando π es mayor al 6 por ciento resulta óptimo no exportar a capacidad. Una mayor conservación es aconsejable para los últimos años del sub-periodo de planeación. Es interesante notar que para π igual al 7.5 y 8 por ciento, el patrón de extracción es oscilante. Este resultado proviene del patrón del servicio de la deuda que se observaría en las condiciones ahí supuestas. Para π 's del 8.5 por ciento –y mayores–, la extracción óptima es francamente conservacionista, aunque no en los primeros años. Esto debe contrastarse con lo obtenido para $r_o = .01$, que aconseja estrategias conservacionistas –para $\pi \geq .06$ – desde el principio del periodo.

²⁰. Estos resultados son estrictamente preliminares y solo pretenden ilustrar la naturaleza de las soluciones. En documento próximo se hará una presentación exhaustiva de los hallazgos numéricos del modelo.