

**FACULTAD LATINOAMERICANA DE CIENCIAS
SOCIALES**

SEDE ECUADOR

TESIS DE MAESTRIA

ECONOMIA DE RECURSOS NO RENOVABLES

**LOS COSTOS AMBIENTALES Y LA PAUTA
INTERTEMPORAL DE EXTRACCION DE
PETROLEO EN EL ECUADOR**

RAFAEL BURBANO RODRIGUEZ
Quito, Agosto de 1996

INDICE

Resumen	1
Introducción	2
Capítulo I : Un modelo de optimización	3
1.1. Optimización de la extracción petrolera en el Ecuador	
1.2. Optimización de corto plazo	
1.3. Optimización de Largo Plazo	
1.4 Algunas ampliaciones al modelo de optimización	
Capítulo II : La tasa de interés y los costos ambientales	12
2.1. La Tasa de interés	
3.2. Los costos ambientales	
3.3. Externalidades	
3.4. Los costos ambientales y la optimización de la extracción petrolera	
Capítulo III : Pruebas econométricas	17
3.1. Test con datos anuales	
3.2. Test con datos mensuales	
Capítulo IV : Hipótesis alternativas	20
4.1. ¿ Porqué la tasa de extracción petrolera es alta ?	
4.2. Test econométrico	
Capítulo V : Conclusiones	26
Anexos	28
Bibliografía	47

Resumen

Esta Tesis trata sobre la política de extracción petrolera en el Ecuador y su relación con los costos ambientales y los derechos de las generaciones futuras sobre los recursos petroleros.

En el primer capítulo se presenta un modelo de optimización de la extracción petrolera que sigue las directrices propuestas por Harold Hotelling en su análisis de la economía de los recursos no renovables.

En el segundo capítulo se hace un análisis de las implicaciones de los costos ambientales y la tasa de descuento, y su relación con la optimización de la extracción petrolera.

Se presenta, en el tercer capítulo, un análisis econométrico para verificar si la política de extracción petrolera ha seguido la política óptima que se desprende del modelo de optimización.

El capítulo cuarto presenta algunos de los porqués la política de extracción petrolera ha seguido una tasa de extracción alta y se intenta probar la hipótesis de que son los requerimientos fiscales los que han determinado la política de extracción.

Finalmente en el capítulo cinco se presentan las conclusiones y algunos lineamientos que deberían servir como base de una política de extracción petrolera óptima.

INTRODUCCION

El sector petrolero constituye quizás el sector económico más importante en el Ecuador. Basta mirar algunas de las siguientes cifras:

El petróleo crudo tiene un participación promedio del 15.71% en el producto interno bruto total en los años 1972-1995. En el año de 1995 el petróleo crudo constituye el 17.30% del PIB total.

En los ingresos del presupuesto nacional la participación media, en el período de tiempo señalado, del sector petrolero es del 35.8%. En el año de 1995 el presupuesto nacional contó con el 38.64% de sus ingresos provenientes del sector petrolero¹.

Respecto a las exportaciones ecuatorianas la participación del petróleo es sumamente alta, con una media del 47% en el período analizado. Quizás en este punto merezca destacarse la disminución del peso de las exportaciones petroleras en los últimos cuatro años, es así que para el año de 1995 el peso de las exportaciones de crudo en el total de las exportaciones llega al 32%. Sin embargo también debe indicarse que las expectativas de crecimiento del PIB con tasas del 4% o 5%, para los últimos años del milenio, se fundamentaría en el incremento de las exportaciones petroleras, petróleo que se lo transportaría por el oleoducto ampliado o por uno nuevo.

Por otra parte, en los últimos años especialmente, a lo largo del país se han levantado algunas voces que, en contrapunto a estos datos, nos presentan la otra realidad del petróleo: los daños ambientales provocados por la exploración, extracción, transporte, refinado y consumo de derivados del petróleo, y el impacto sociocultural negativo de la actividad petrolera en los pobladores del oriente ecuatoriano, donde se asientan la principales reservas de hidrocarburos.

Si la economía es la asignación óptima de recursos escasos cabe la pregunta ¿ es posible definir una tasa óptima de extracción petrolera que conjugue dos objetivos: la maximización de los ingresos generados por la explotación petrolera y minimice los daños ambientales ?.

En esta tesis se intentará responder a esta pregunta.

¹ Estos valores incluyen la participación de los ingresos generados por las ventas internas de derivados.

Capítulo I

Un modelo de optimización

1.1. Optimización de la extracción petrolera en el Ecuador

La aplicación de los conceptos de la teoría económica neoclásica a los recursos no renovables se fundamenta en el trabajo que Harold Hotelling publicó en 1931. Hotelling parte del supuesto de que el propietario del recurso - sea una empresa privada o estatal - busca maximizar el valor presente de las ganancias generadas por la extracción del recurso en un período de tiempo determinado.

Analicemos el caso de la extracción petrolera de un productor marginal, como el Ecuador. Si bien es cierto que nuestro país es también consumidor de petróleo, para simplificar el análisis no voy a considerar esta característica.

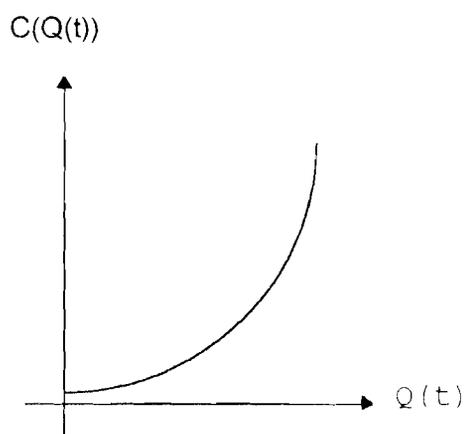
Al ser la oferta ecuatoriana muy pequeña en relación a la extracción mundial de petróleo, la oferta ecuatoriana no incide en el precio del petróleo, por tanto en el instante t , el precio $P(t)$ está exógenamente determinado. Sea $Q(t)$ la cantidad extraída y vendida. La ganancia $\pi(Q(t))$ es igual al ingreso generado por la venta del petróleo extraído, menos $C(Q(t))$ los costos de extracción, transporte, etc.

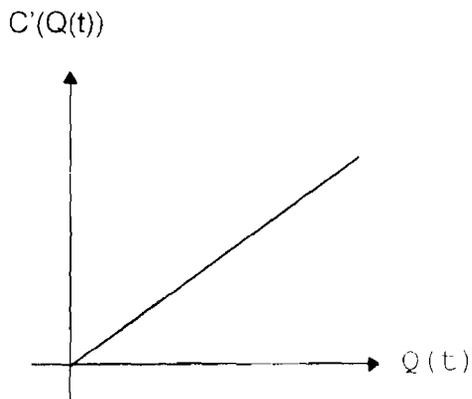
$$\pi(Q(t)) = P(t)Q(t) - C(Q(t)) \quad (1)$$

Supondremos que los costos de extracción son crecientes, y que el costo marginal también es creciente, es decir que:

$$C'(Q) > 0, \quad C''(Q) > 0 \quad (2)$$

matemáticamente, $C'(Q)$ es una función de convexa.





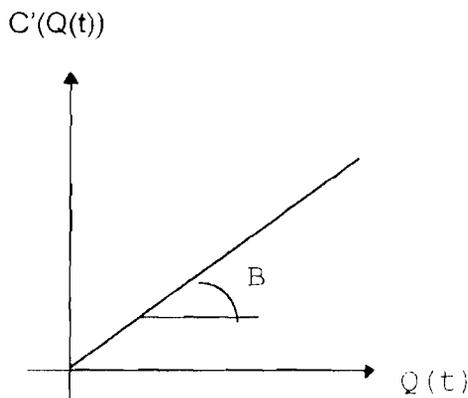
Para expresar más claramente las características de la solución en términos matemáticos, vamos a suponer que la función de costos tiene la forma:

$$C(Q(t)) = \frac{\beta}{2} Q^2(t) \quad (3)$$

cuyo costo marginal es igual a:

$$C'(Q) = \beta Q(t) \quad (4)$$

El costo marginal es una función lineal creciente. El coeficiente β mide el incremento del costo marginal cuando se extrae un barril adicional de petróleo.



1.2. Optimización de corto plazo

a. Optimización sin restricciones

En el corto plazo el problema de maximización es:

$$\text{Maximizar } \pi(Q(t)) = P(t)Q(t) - C(Q(t)) \quad (5)$$

La solución óptima implícita viene dada por: (Ver Anexo A)

$$C'(Q^*(t)) = P(t) \quad (6)$$

Y en el caso de la función de costos cuadrático la solución explícita es:

$$Q^*(t) = P(t) / \beta \quad (7)$$

La solución es el conocido resultado de que la extracción debe ser en el punto en el cual el costo marginal de extracción es igual al precio del barril de petróleo.

b. Optimización con la restricción del oleoducto

Si L es la capacidad de transporte del oleoducto, el problema de maximización es:

$$\text{Maximizar} \quad \pi(Q(t)) = P(t)Q(t) - C(Q(t)) \quad (8)$$

$$\text{sujeto a} \quad Q(t) \leq L \quad (9)$$

Si llamamos $Q_1^*(t)$ a la solución óptima de corto plazo sin restricciones, la solución de corto plazo con la consideración de la restricción del oleoducto es: (Ver Anexo A)

$$Q^*(t) = \begin{cases} Q_1^*(t) & \text{si} \quad Q_1^*(t) \leq L \\ L & \text{caso contrario} \end{cases} \quad (10)$$

Para la función de costos cuadrática nos queda:

$$Q^*(t) = \begin{cases} P(t) / \beta & \text{si} \quad P(t) / \beta \leq L \\ L & \text{caso contrario} \end{cases} \quad (11)$$

Las soluciones (10) y (11) nos dicen que si la extracción óptima es mayor que la capacidad de transporte del oleoducto, sólo en este caso, se debe extraer a la máxima capacidad que nos permite el oleoducto.

1.3. Optimización de Largo Plazo

En el largo plazo el problema de optimización que se presenta es el siguiente: digamos que en el instante $t = 0$, hay una reserva A de petróleo ¿cuánto se debe extraer?. Una opción es extraer "hoy" la mayor cantidad posible para obtener la ganancia lo más pronto y poder utilizar dichos recursos. Obviamente si las necesidades actuales de recursos es menor que lo que se obtiene por la extracción del petróleo, los recursos sobrantes pueden ahorrarse en el sistema financiero internacional para ser utilizado "mañana", además en el futuro los recursos estarán incrementados por el interés ganado. Si las expectativas de

precio futuro son halagüeñas, otra opción es extraer “hoy” una pequeña cantidad, quizá sólo lo suficiente para satisfacer las necesidades actuales, conservar el petróleo bajo la tierra y extraerlo “mañana” para en el futuro obtener mayores recursos. Si en el “mañana” se esperan precios bastantes altos, en el caso de que necesitemos recursos para cumplir los requerimientos actuales, podríamos endeudarnos contra el ingreso futuro a una tasa de interés determinada.

Recordemos que para comparar dos valores en momentos distintos, el ingreso futuro se debe multiplicar por un factor de descuento. En la optimización intertemporal tenemos por tanto dos elementos: los precios y la tasa de descuento. Formalmente el modelo de optimización lo planteamos de la siguiente manera:

Se va a considerar un modelo continuo. Sean $t = 0$ el instante inicial a partir del cual vamos a optimizar, $P(t)$ y $Q(t)$ el precio y la cantidad extraída en el instante t , r la tasa de interés. En el momento t la ganancia es $\pi(Q(t)) = P(t)Q(t) - C(Q(t))$. El valor presente de $\pi(Q(t))$ se calcula multiplicándolo por el factor de descuento $\exp(-rt)$.

La ganancia total es igual a la “suma” de los valores presentes de las ganancias. Al tratarse de un modelo continuo la “suma” de los valores presentes es igual a la integral de dichos valores en el intervalo de tiempo especificado, digamos $[0, T]$.

De acuerdo a la teoría económica de recursos no renovables, T es el momento en el cual dejará de ser económicamente rentable la extracción del petróleo, lo que ocurre cuando los costos de extracción del petróleo son mayores que P_B , que es el precio de una tecnología alternativa a este recurso - por ejemplo las células fotoeléctricas -, lo cual provoca que no sea rentable la extracción petrolera y que la demanda se traslade a la nueva tecnología.

En nuestro país T se podría fijar políticamente, T podría ser, por ejemplo, el año máximo hasta el cual los recursos petroleros serán utilizados para llevar adelante un proceso de desarrollo económico del país fundamentado en los ingresos petroleros.

a. Optimización sin restricciones

Al igual que en el análisis de corto plazo primeramente consideraremos el modelo de optimización sin la restricción del oleoducto. Adicionalmente para facilitar el análisis sólo analizaremos el modelo con la función de costos cuadrática.

Sea A el monto inicial de las reservas petroleras. El total extraído en el período de optimización es igual a la integral de $Q(t)$ en el intervalo $[0, T]$. Evidentemente el total de petróleo extraído no puede superar A . Sea $X(t)$ la reserva petrolera en el instante t , es claro que el petróleo extraído $Q(t)$ es igual al negativo de la variación de las reservas, además $X(0) = A$.

El problema de optimización es:

$$\text{Maximizar } \int_0^T [P(t)Q(t) - \beta Q^2(t) / 2] \exp(-rt) dt \quad (12)$$

$$\text{sujeto a } \int_0^T Q(t) dt \leq A \quad (13)$$

$$Q(t) = -\frac{dX}{dt} \quad (14)$$

$$Q(t) \geq 0 \quad (15)$$

La solución general óptima es (Ver Anexo B)

$$Q^*(t) = P(t) / \beta - \lambda_0 \exp(rt) / \beta$$

$\lambda(t) = \lambda_0$ es la variable de coestado asociada a la restricción (14). De la teoría microeconómica sabemos que $\lambda(t) = \lambda_0$ es el precio sombra del petróleo en el instante t . $\lambda(t)$ es el valor presente del beneficio adicional obtenido por añadir, en el instante t , una unidad extra del recurso a las reservas disponibles en ese momento.

Se consideran dos casos de la solución (Ver Anexo B)

$$\text{Caso 1. } Q^*(t) = P(t) / \beta \quad (\lambda_0 = 0) \quad (16)$$

$$\text{Caso 2. } Q^*(t) = P(t) / \beta - \lambda_0 \exp(rt) / \beta \quad (\lambda_0 > 0) \quad (17)$$

La solución nos permite obtener las siguientes conclusiones:

Caso 1.

$$\text{Este caso corresponde a la condición: } \int_0^T [P(t) / \beta] dt \leq A. \quad (18)$$

Esto significa que las reservas iniciales de petróleo alcanzan para que el total extraído, siguiendo el proceso de optimización de corto plazo, no supere A , o sea que tenemos suficiente petróleo para extraerlo durante todo el intervalo de optimización.

Tenemos que $\lambda_0 = 0$, lo que quiere decir que el beneficio adicional por añadir un barril de petróleo a las reservas es cero, pues el petróleo no falta sino sobra.

Esta solución es igual a la solución de corto plazo. Si hay abundancia de reservas, la optimización de largo plazo coincide con la optimización de corto plazo.

Caso 2.

$$\text{La condición es ahora } \int_0^T [P(t) / \beta] dt > A \quad (19)$$

Aquí al contrario del caso anterior, si en el período $[0, T]$ se extrae siguiendo la pauta de optimización de corto plazo, el total extraído superaría a las reservas iniciales, lo que no es posible. Lo más eficiente es disminuir la cantidad $\lambda_0 \exp(rt) / \beta$ del óptimo de corto plazo.

Si tenemos poco petróleo, la optimización de largo plazo difiere de la optimización de corto plazo.

Ahora se cumple que $\lambda_0 > 0$, esto quiere decir que el precio sombra del petróleo es positivo o sea que el incremento de las reservas nos proporciona ingresos adicionales pues las reservas están siendo utilizadas en su totalidad.

b. Optimización con la restricción del oleoducto

Al problema de optimización debemos añadir la restricción del transporte por el oleoducto:

$$\text{Maximizar} \quad \int_0^T [P(t)Q(t) - \beta Q^2(t) / 2] \exp(-rt) dt \quad (12')$$

$$\text{sujeto a} \quad \int_0^T Q(t) dt \leq A \quad (13')$$

$$Q(t) = -\frac{dX}{dt} \quad (14')$$

$$Q(t) \geq 0 \quad (15')$$

$$Q(t) \leq L \quad (20)$$

Similarmente a la optimización anterior, se presentan dos soluciones: (Ver Anexo C)

Solución 1.

$$Q^*(t) = \begin{cases} P(t) / \beta & \text{si } P(t) / \beta < L \\ L & \text{caso contrario} \end{cases} \quad (21)$$

Solución 2.

$$Q^*(t) = \begin{cases} P(t) / \beta - \lambda_0 \exp(rt) / \beta & \text{si } 0 \leq P(t) / \beta - \lambda_0 \exp(rt) / \beta \leq L \\ L & \text{si } P(t) / \beta - \lambda_0 \exp(rt) / \beta > L \\ 0 & \text{si } P(t) / \beta - \lambda_0 \exp(rt) / \beta < 0 \end{cases} \quad (22)$$

La solución 1 corresponde al caso en el cual existen suficientes reservas iniciales como para cubrir la extracción en todo el intervalo temporal de optimización. De ser así la optimización de corto plazo coincide con la optimización de largo plazo.

Si las reservas no son insuficientes para cubrir la extracción óptima de corto plazo a lo largo de todo el período, la extracción debe disminuirse en la cantidad $\lambda \omega \exp(rt) / \beta$, como lo indica la solución 2.

Analizando las dos soluciones, se pueden extraer las siguientes conclusiones:

Si los costos de extracción son altos, es decir si el coeficiente β es grande, o si el precio $P(t)$ es pequeño, es posible satisfacer la condición $P(t) / \beta \leq L$ (Ec 21) o $P(t) / \beta - \lambda \omega \exp(rt) / \beta \leq L$ (Ec 22), lo que implica que se extrae a una tasa menor que el máximo de la capacidad del oleoducto.

No es una regla general que debamos extraer al máximo.

ANÁLISIS DE ESTÁTICA COMPARATIVA

Realizando un análisis de estática comparativa, la ecuación de extracción óptima sin la restricción del oleoducto nos permite obtener algunas conclusiones adicionales (obviamente estas conclusiones son aplicables a la optimización con la restricción de transporte por el oleoducto)

Partimos de:

$$Q^*(t) = P(t) / \beta - \frac{r}{(\exp(rT) - 1)} \left[\int_0^T (P(t) / \beta) dt - A \right] \exp(rt) \quad (23)$$

$$a. \quad \frac{\partial Q^*}{\partial P} = 1 / \beta > 0 \quad (24)$$

Si el Ecuador busca maximizar los ingresos por la extracción petrolera, entonces la tasa óptima de extracción está relacionada positivamente con el precio del petróleo, dicho de otro modo, si aumenta el precio debe aumentar su extracción y si los precios se reducen, debe reducir su extracción en el mismo margen porcentual.

$$b. \quad \frac{\partial Q^*}{\partial A} = \frac{r \exp(rt)}{(\exp(rT) - 1)} > 0 \quad (25)$$

Por otra parte si al aumentarse nuevos campos petrolíferos las reservas aumentan entonces se justifica plenamente aumentar la extracción.

$$c. \quad \frac{\partial Q^*}{\partial r} = K[\exp(rT)(rT - 1 - r) + 1 + r] > 0^2 \quad (26)$$

donde

² El resultado algebraico es ambiguo pues $(rT-1-r)$ puede ser negativo. Numéricamente es fácil demostrar que para tasas de interés mayores que 1% (anual) es suficiente que T sea mayor que 5 (años) para que la derivada sea positiva, aunque el factor $(rT-1-r)$ sea negativo.

$$K = \exp(rT) \left[\int_0^T (P(t) / \beta) dt - A \right] / (\exp(rT) - 1)^2 > 0$$

Finalmente si aumenta la tasa de interés también debe aumentar la extracción. Al incrementarse la tasa de interés el valor presente de los beneficios futuros disminuye por lo que es óptimo extraer más en el presente.

1.4. Algunas ampliaciones al modelo de optimización

El modelo de optimización puede tener algunas ampliaciones simples.

1. Tasa de interés variable

La hipótesis de la tasa de interés constante puede ser fácilmente generalizada al caso de una tasa de interés variable en el tiempo $r(t)$. El factor de descuento en el caso de una tasa de interés variable es $\exp(-r_m t)$, donde $-r_m(t)$ es la tasa media de interés en el intervalo $[0, t]$:

$$r_m(t) = (1/t) \int_0^t r(u) du$$

El análisis del problema de optimización:

$$\text{Maximizar} \quad \int_0^T [P(t)Q(t) - \beta Q^2(t) / 2] \exp(-r_m t) dt \quad (27)$$

sujeto a las restricciones (13), (14), (15) y (20) es similar.

2. La incertidumbre de las reservas

En el modelo analizado hemos supuesto que se hay certidumbre total sobre el nivel de reservas. En la industria petrolera, la certidumbre total no existe. En general las reservas se clasifican en:

reservas probadas: son las reservas cuya existencia está plenamente verificada.

reservas probables: son las reservas que tienen un margen de incertidumbre sobre su nivel real de existencia.

Definiendo una distribución de probabilidad sobre las reservas probables, la reservas iniciales serán igualmente una variable aleatoria:

$$R = R0 + R1$$

donde $R0$ son las reservas probadas y $R1$ son las reservas probables.

Una manera muy simple de abordar el problema de incertidumbre en las reservas es realizar una estimación de la optimización según escenarios.

Escenario conservador.- Consideramos las reservas probables como inexistentes, es decir hacemos $A = R_0$

Escenario optimista.- Las reservas iniciales las tomamos iguales a: $A = R_0 + E[R_1]$, donde $E[R_1]$ es la esperanza de la variable aleatoria R_1 .

CAPITULO II

La tasa de interés y los costos ambientales

2.1 . La Tasa de interés

En el modelo propuesto se han descontado los ingresos futuros multiplicando sus valores expresados en sucres del año t por el factor de descuento $\exp(-rt)$. Al incrementarse la tasa de interés disminuye el factor de descuento, es decir que los ingresos y costos futuros se hacen menos valiosos en el presente. En el supuesto de querer maximizar el ingreso presente, si tasa de interés es alta, la conclusión inmediata es extraer lo más pronto el petróleo. Este es un resultado conocido por los economistas ambientales.

En el modelo de optimización al descontar - o mejor dicho infravalorar - los costos y beneficios futuros estamos asumiendo que el bienestar de las generaciones futuras es menos importante que nuestro bienestar.

Pero ¿ qué es la tasa de interés y cuál es su significado para la economía de los recursos naturales ?

Para la economía neoclásica el interés es "la cantidad de dinero que se paga (recibe) por un préstamo recibido (dado)". La tasa de interés se determina en el mercado respectivo dado que es "el factor de equilibrio entre la demanda de fondos y la oferta de ahorro"³

De acuerdo a la llamada regla de Ramsey en la tasa de interés aparecen dos factores:

$$r = s(y^* - p^*) + f$$

y^* es la tasa de crecimiento porcentual de la economía, p^* la tasa de crecimiento porcentual poblacional, s es el inverso de la elasticidad de la utilidad marginal respecto al ingreso y f es la tasa de preferencia intertemporal del consumo (preferencia del presente sobre el futuro).

De acuerdo a esta fórmula la tasa de interés será alta si el crecimiento económico esperado es alto o si la preferencia por el consumo presente lo es. Una manera de "pagar" el interés por un préstamo adquirido es que los ingresos futuros sean mayores que la cantidad recibida a préstamo. Una segunda manera de pagar el interés generado por nuestra impaciencia en el consumo es sacrificando el consumo futuro.

Que no es ético descontar el futuro por la pura preferencia intertemporal es algo que algunos economistas consideran aceptable. Para los economistas neoclásicos las preferencias individuales intertemporales son las que determinan los niveles de consumo individual, algunos economistas neoclásicos no consideran aceptable que las decisiones de un individuo o de un grupo de individuos afecten las elecciones de los consumidores futuros pues estos no tienen representación en el mercado.

La tasa de descuento en el modelo de optimización no es una tasa de descuento individual, sino social e intergeneracional, al determinar la tasa de extracción petrolera no sólo estamos definiendo el bienestar futuro, sino que se está influyendo en el bienestar de

³ Raul Prebisch . **Introducción a Keynes**, pag 27

una generación diferente. Y esto es arrogarnos un derecho que nadie nos ha concedido, por tanto debemos tomar $f = 0$

Nos queda ahora la justificación de la tasa de interés positiva por el crecimiento esperado de la economía.

Si la riqueza aumenta en el tiempo, tiene sentido dar un menor peso a los beneficios y costos futuros.

“La Economía Ecológica es la ciencia y la gestión de la sustentabilidad. Entonces deberíamos definir la tasa apropiada de descuento, para una economía ecológica, como la tasa a la cual la inversión incrementa la capacidad de producción sustentable. Ahora bien, definir qué parte del incremento en capital producirá un incremento en producción sustentable y qué parte producirá un incremento en la destrucción de la naturaleza, es una cuestión ardua.”⁴

El indicador del crecimiento económico por excelencia, la tasa del crecimiento del producto interno bruto, es un indicador que mide muy poco el crecimiento sostenible de la economía.

Sólo para mencionar dos críticas de la economía ecológica a la contabilidad del PIB

1. La extracción de los recursos naturales no renovables se considera como producción, lo que es incorrecto pues los recursos naturales no renovables no se producen sino se extraen. En algunos países se ha intentado corregir este sesgo considerando la extracción petrolera y de otros recursos no renovables como la descapitalización del “stock de capital natural”. Es un paso muy importante y si se logra implantar en nuestro país habremos avanzado. De todos modos la consideración de la naturaleza como “capital” no es del todo convincente. En el concepto de descapitalización está implícito la idea de amortización o reconstitución del capital depreciado pero los recursos naturales no renovables no pueden regenerarse.

“El problema estriba en que muchos de los recursos patrimoniales que los Fisiócratas [del siglo XVIII] incluían bajo la denominación de bienes fondo no son renovables o producibles, no pudiendo por tanto reponerse. En el caso particular de una empresa, este problema se resuelve asegurando en su contabilidad privada, que la venta de sus productos les permita amortizar el valor de los bienes fondo adquiridos. Una vez consumidos esos bienes fondo no reproducibles, la empresa podrá trasladar así su actividad a otros recursos, sin quebranto de su patrimonio medido en términos monetarios. Sin embargo si se amplía la escala de razonamiento al nivel estatal o incluso planetario, los límites objetivos que comportan las dotaciones de bienes fondo disponibles, hacen inadecuados los principios que inspiran el razonamiento y el registro contable propios de la empresa privada. La noción de amortización pierde su sentido para atajar procesos de degradación patrimonial globalmente irreversibles.”⁵

⁴ Martínez Alier, **Curso Intensivo de Economía Ecológica**, pg 102

⁵ Naredo. Citado por Martínez. Alier en **Curso Intensivo de Economía Ecológica**, pg 15

2. Parte de los gastos de los consumidores y de las administraciones públicas se dedican a la adquisición de bienes y servicios que corrijan, eviten o mitiguen los “males” causados por la degradación del medio ambiente por la actividad económica. Considérese por ejemplo los gastos médicos de los residentes quiteños ¿ Qué parte del gasto médico es imputable al daño provocado por la contaminación del aire por el smog de los automóviles ? ¿ Debe este gasto restarse o sumarse al PIB ? Si para disminuir el gasto en salud se prohíbe la circulación de los automóviles en la ciudad, ¿Cuál será la disminución del bienestar provocado por la disminución de la actividad económica ?

En conclusión utilizar la tasa de interés como tasa de descuento conlleva una serie de supuestos que deben ser eliminados, esto significa ¿ qué la tasa de descuento a ser utilizada debe ser $r = 0$? No necesariamente. Del análisis previo se puede concluir que la tasa de interés de mercado es una tasa de descuento con un sesgo positivo, por lo que lo coherente es utilizar una tasa de descuento menor pero positiva, por ejemplo en mi opinión, una tasa del 2% sería adecuada.

3.2. Los costos ambientales

Lamentablemente la industria petrolera es una de las industrias que más daños ambientales produce. En todas sus facetas: exploración de yacimientos, perforación, extracción, transporte, refinación y consumo de derivados.

Durante la fase de exploración se deforesta la selva en pequeña escala por la necesidad de abrir trochas y por la construcción de helipuertos. La perforación de los pozos petroleros es fuente de generación de los lodos de perforación - el lubricante de la perforación - que contienen petróleo y otros químicos contaminantes. La extracción del petróleo conlleva los peligros del brote del agua contenida en los yacimientos la cual en muchos casos es arrojada directamente a los ríos de la selva. Evidentemente esta agua contiene muchos residuos de hidrocarburos. Eventualmente los pozos pueden incendiarse lo que produce una enorme contaminación del aire y producción de CO₂. Lamentablemente en nuestro país el gas que está atrapado conjuntamente con el petróleo se quema libremente lo que es perjudicial para el ambiente aparte de ser un desperdicio energético terrible. El transporte del petróleo por el oleoducto no ha dejado de ser un elemento dañino del medio ambiente por los continuos derrames que se han producido los cuales destruyen completamente las formas de vida vegetal y animal por la alta toxicidad del petróleo. La refinación del petróleo para obtener los derivados es causa de contaminación de aire por la generación de óxidos de nitrógeno, azufre y carbono. Finalmente el consumo de combustible es la causa principal de la contaminación del aire en las ciudades por el número relativamente alto de automóviles y el mal mantenimiento de los motores.

Si la extracción petrolera provoca daños ambientales y en el supuesto de que estos daños fuesen reparables, ¿ no deberían incorporarse los costos de restauración en la producción petrolera ? Desde una óptica social la respuesta es sí. Un principio ético que debería ser universal es el principio de que el que contamina paga. Analicemos la incorporación de los daños o costos ambientales en la optimización de la extracción petrolera.

Para la economía del medio ambiente, la incorporación de los costos ambientales en la producción se la hace bajo el esquema de la “internalización de las externalidades” por lo que veamos que son las externalidades.

3.3. Externalidades

En economía se dice que una externalidad se crea cuando la actividad económica de un individuo afecta, positiva o negativamente, el bienestar de otro individuo, este efecto está fuera del mercado (de allí su nombre de "externalidad"). Un ejemplo típico de externalidad es la contaminación de la ciudad de Lago Agrio por la quema del gas que brota de los pozos petroleros.

Las externalidades negativas incrementan los costos de producción privados o disminuyen el beneficio privado⁶ en tanto que las externalidades positivas incrementan los beneficios o disminuyen los costos de producción privados. Los costos y beneficios incrementados o disminuidos por las externalidades se denominan costos sociales. Las externalidades positivas incrementan los beneficios privados y sus valores incrementados se denominan beneficios sociales.

De la teoría microeconómica sabemos que la producción óptima privada iguala los costos y beneficios marginales privados. El ideal social es igualar los costos y beneficios marginales sociales.

En la economía ambiental neoclásica se parte del supuesto que toda externalidad puede ser valorada monetariamente, una vez hecho esto, o sea una vez "internalizadas las externalidades", la magia del mercado hará el resto.

La economía ecológica argumenta contra la posibilidad de un "internalización" o valoración convincente de las externalidades. Hay externalidades que no las conocemos, por ejemplo, la pérdida de biodiversidad en los campos petroleros. biodiversidad que ni siquiera está inventariada. Otras externalidades se manifestarán en el futuro.

Si hay externalidades que no las conocemos, ¿ cómo las evaluamos ?, y si son externalidades que se manifestarán en el futuro, cualquier valoración monetaria será "nuestra" valoración y no representará la opinión de las generaciones futuras que son quienes sufrirán las externalidades. Puede ser que las generaciones futuras decidan ser ciudadanos y no consumidores de un mercado ficticio de externalidades internalizadas y compartan la opinión de David Ehrenfeld "Si yo fuese uno de los muchos explotadores y destructores de la diversidad biológica, lo que más me gustaría de mis enemigos, los conservacionistas, es que se hundiesen en el pantano de la valorización".⁷

3.4. Los costos ambientales y la optimización de la extracción petrolera

Si hemos argumentado en contra de la internalización convincente de las externalidades quiere decir que ¿ no es posible considerar los costos ambientales en la función de costos de la extracción petrolera ?. Dicho de otro modo, la determinación de la solución óptima

⁶ Los costos y beneficios privados son los costos y beneficios que se tendrían en ausencia de la externalidad.

⁷ David Ehrenfeld, "Why Put Value on Biodiversity ?", pp 212, 216 en Biodiversity. Citado por Joshep Vogel en **Una alternativa de mercado para la valoración de la biodiversidad: El caso del Ecuador.**, pg 2

depende de la función de costos, si los costos incluyen los daños ambientales, hay dificultad o imposibilidad en definir la función de costos y por tanto el modelo de optimización no pasaría de ser un puro ejercicio matemático.

La economía ecológica si bien es cierto argumenta sobre la inconmensurabilidad de las externalidades, por otra parte, y tal vez esto sea lo más importante, reconoce que es desde fuera de la economía que se deben establecer los niveles de producción o lo que es lo mismo, los niveles de contaminación soportables por el medio ambiente. Es decir aboga por que la economía humana encaje en los límites de los ecosistemas y reconoce que la economía está profundamente imbricada en la sociedad y la política.

Por tanto, es factible dar la vuelta al argumento de la inutilidad del modelo de optimización. Si la función de costos de extracción no puede ser establecida por la incomensurabilidad de las externalidades ambientales, ¿ por qué no utilizar la función de costos cuadrática como un elemento normativo ?. Los defensores del medio ambiente abogarán por una función de costos más empinada (un valor alto de β) y a quienes les importa poco el medio ambiente creerán que la función es más plana (un valor bajo de β).

Cualquiera sea el caso, lo interesante de la solución es que esta establece que es óptimo producir correlacionadamente con el precio del petróleo. A mayor precio mayor producción y a menor precio lo mejor es dejar el petróleo en su yacimiento.

CAPITULO III

Pruebas econométricas

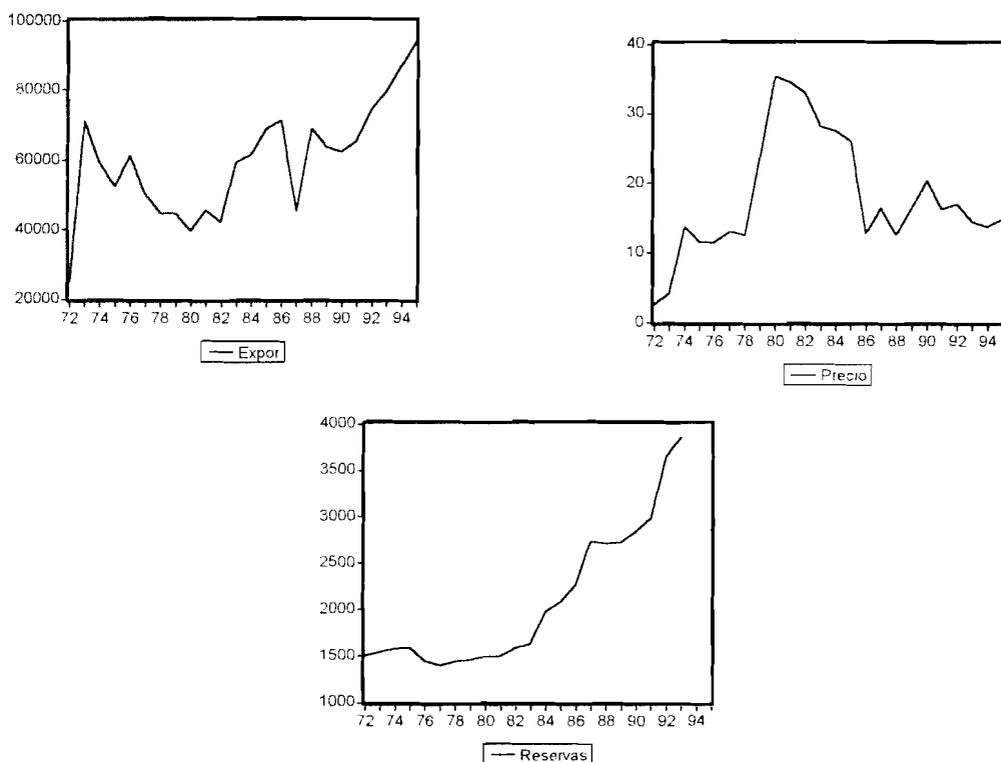
Si bien es cierto que en el corto plazo las exportaciones petroleras han estado limitadas por la capacidad de transporte del oleoducto, permanentemente los técnicos petroleros hay estado ampliando la capacidad del oleoducto vía la utilización de aditivos químicos para reducir la viscosidad del petróleo, el aumento de la presión de bombeo y el transporte a través del oleoducto colombiano, por lo que en la regresión no se consideran datos sean datos censurados.

3.1. Test con datos anuales

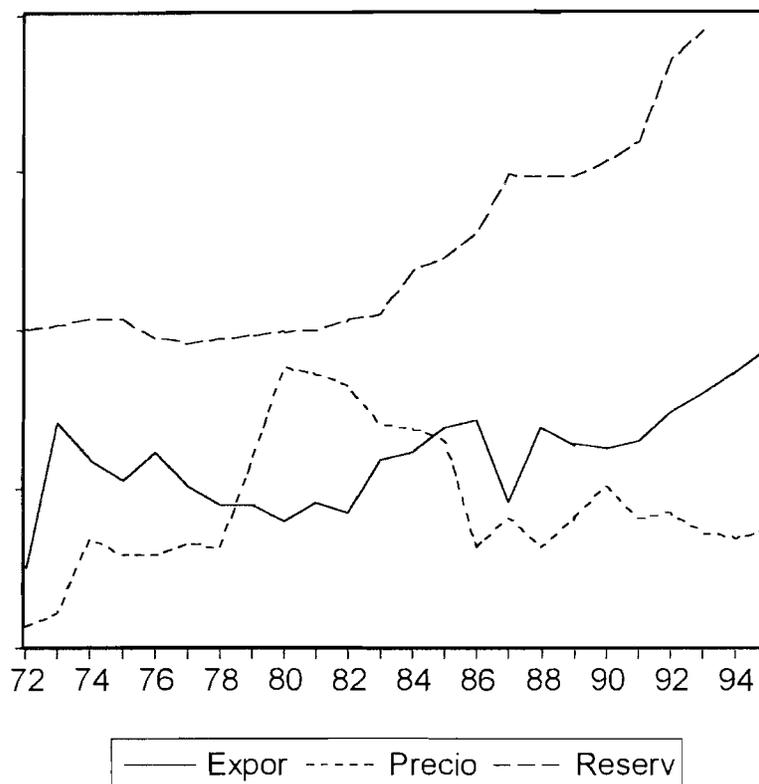
Analicemos econométricamente la eficiencia de las políticas de extracción petrolera.

Si nuestro país hubiese seguido una política óptima de exportación petrolera los coeficientes asociados a los precios y reservas deberían ser positivos.

Exportación, Precio y Reservas del Petróleo



Exportación, Precio y Reservas del Petróleo
(Diversas Escalas)



Primeramente se correrá una regresión con datos anuales de las exportaciones petroleras. Las variables explicativas son el precio del petróleo y la "reservas iniciales". A las "reservas iniciales" no se les va restando los volúmenes de petróleo extraído año a año pero si se les añade los nuevos campos descubiertos. (Ver Anexo D).

En la regresión se añade una variable muda que vale 1 en 1987 y 0 en el resto de años. Esta variable muda capta la baja en las exportaciones provocada por la ruptura del oleoducto en marzo de 1987.

LS // Dependent Variable is EXPOR

Date: 08/16/96 Time: 10:36

Sample(adjusted): 1972 1993

Included observations: 22 after adjusting endpoints

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	35403.33	8368.581	4.230506	0.0005
PRECIO	-159.0523	245.6660	-0.647433	0.5255
RESER	12.24992	2.997540	4.086656	0.0007
DUM87	-20843.34	10617.06	-1.963194	0.0653

R-squared	0.518835	Mean dependent var	57132.01
Adjusted R-squared	0.438641	S.D. dependent var	13593.50
S.E. of regression	10184.78	Akaike info criterion	18.62027
Sum squared resid	1.87E+09	Schwarz criterion	18.81864
Log likelihood	-232.0396	F-statistic	6.469742
Durbin-Watson stat	1.613735	Prob(F-statistic)	0.003666

Considerando que son datos anuales el ajuste no es muy bueno pues el coeficiente R2 es pequeño. El modelo propuesto no se ajusta muy bien a los datos. La razón fundamental es el quiebre en los precios, que a partir del año 80 tienen una clara tendencia declinante.

3.2. Test con datos mensuales

Veamos que ocurre si analizamos las variables mensuales en el período 1980 - 1993. De la regresión se excluyen los meses en que las exportaciones se afectan por la ruptura del oleoducto en el año de 1987.

LS // Dependent Variable is EXPOR

Date: 08/21/96 Time: 14:23

Sample: 1980:01 1993:12

Included observations: 162

Excluded observations: 6

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	5248.321	721.9499	7.269646	0.0000
PRECIO	-68.05433	15.44533	-4.406144	0.0000
RESER	0.573186	0.171725	3.337812	0.0011

R-squared	0.461035	Mean dependent var	5110.716
Adjusted R-squared	0.454255	S.D. dependent var	1396.709
S.E. of regression	1031.812	Akaike info criterion	13.89649
Sum squared resid	1.69E+08	Schwarz criterion	13.95367
Log likelihood	-1352.484	F-statistic	68.00489
Durbin-Watson stat	1.827231	Prob(F-statistic)	0.000000

El coeficiente asociado a los precios es negativo, por otra parte el coeficiente asociado a las reservas es positivo. Ambos son estadísticamente significativos.

La conclusión es que la política de exportación y consecuentemente de extracción petrolera ha sido ineficiente al no disminuir la exportación en los períodos de precios bajos. El tratamiento de las reservas en cambio ha sido correcto, al incrementarse estas, se justifica el incremento de la extracción y de las exportaciones petroleras.

CAPITULO IV

Hipótesis alternativas

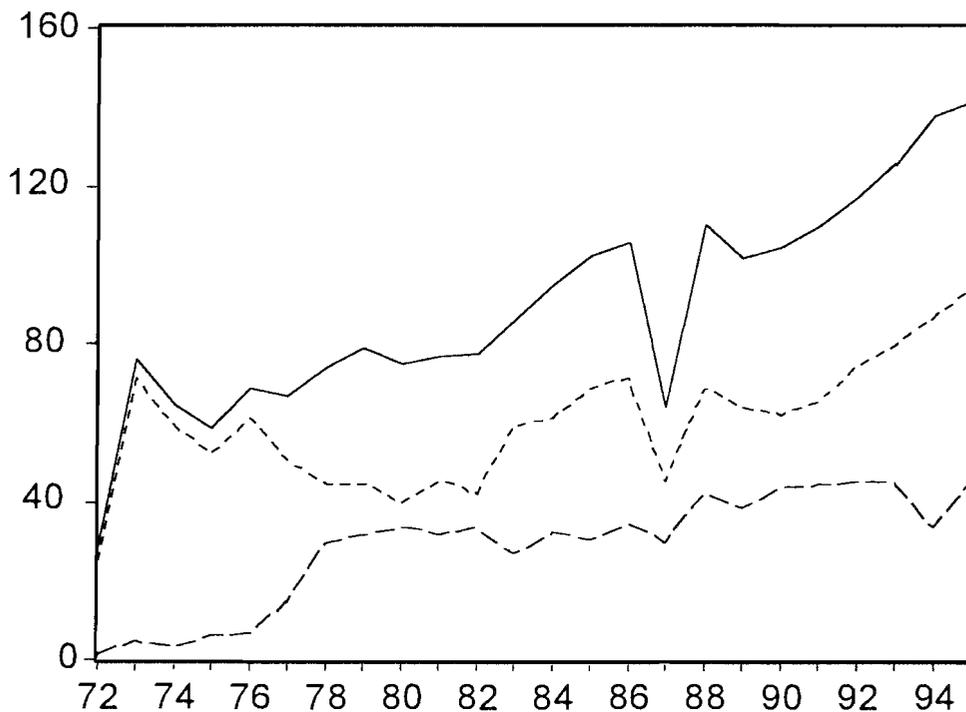
4.1. ¿ Por qué la tasa de extracción petrolera es alta ?

Si del modelo de optimización se deduce que lo eficiente es reducir la extracción en los períodos temporales en los cuales baja el precio. ¿ Por qué el Ecuador no ha llevado adelante esta política ?

Hay varias razones que incentivan a que la política sea aumentar la tasa de extracción.

1. El petróleo extraído en el Ecuador tiene dos destinos. Una parte va a las refinerías para su transformación en combustibles: gasolina, kerex, etc. La parte restante se la exporta. Los recursos de la exportación petrolera financian el gasto fiscal con un porcentaje medio del 35.8% para los años de país exportador de petróleo.

Extracción, Exportación y Entregas a las Refinerías de Crudo
(millones de barriles)



Siguiendo a Oscar Braun⁸, podemos decir que la necesidad de los ingresos por la exportación petrolera puede especificarse por:

$$P \times QE = K \cdot I \quad (*)$$

donde P es el precio del petróleo, QE es la parte de extracción petrolera que se exporta, K una constante e I son los ingresos totales de del presupuesto gubernamental.

Esta ecuación dice que si el precio del petróleo baja, "debemos" aumentar la extracción, resultado totalmente opuesto a la conclusión que se obtiene de las soluciones (21) y (22). Esta política, que en alguna medida es la que se ha seguido, es tremendamente perjudicial para el Ecuador, pero es característica de los países exportadores de materias primas.

Una ecuación como la (*) aplicada a varios países exportadores de petróleo marginales trae como consecuencia que al caer los precios todos oferten más, lo que provoca una nueva caída de precios. Esta política es completamente ineficiente para los productores y para la conservación de los recurso naturales (renovables o no) pues, la disminución de precios incentiva el aumento de la demanda y agota más rápidamente los recursos no renovables o depreda a un ritmo más alto los recursos naturales renovables.

Recordemos que usualmente la cantidad de barriles a extraerse en un año se lo fija poco antes de la aprobación de presupuesto nacional - hasta 1993 la tasa de extracción se la fijaba en acuerdo con la OPEP -. Si el petróleo sube de precio simplemente es "buena suerte", y si baja de precio es "mala suerte".

Ciertamente, cuando la "mala suerte" golpea a nuestro país, en el corto plazo se busca exportar más, pero, si la providencia nos bendice elevando los precios, lo que no se hace es exportar menos. La ecuación (*) sólo se aplica, en los límites posibles, cuando baja el precio. Basta recordar que a inicios de 1995, uno de los diputados de la Comisión de Presupuesto del Congreso Nacional, "descubrió" un excedente fiscal de 300.000 millones de sucres. Ninguna de las autoridades sugirió reducir la exportación petrolera. La decisión de todos fue repartirse el excedente presupuestario, buscando cada cual el mayor pedazo.

2. Si en futuro se esperan precios altos y si tratamos de optimizar la extracción petrolera financieramente puede ser óptimo endeudarse en el presente para cubrir los préstamos en el futuro. Sin embargo los créditos no están a nuestra disposición simplemente con solicitarlos. Con una deuda externa neta del orden de los 12.500 millones de dólares, los organismos financieros internacionales no están dispuestos a concedernos préstamos con la garantía de unos ingresos futuros que - querámoslo o no - tienen un margen de incertidumbre.

Es decir que, incluso si las expectativas de precios futuros es favorable para las exportaciones petroleras, no tenemos más remedio que extraer más para cubrir nuestras necesidades presentes.

⁸ Oscar Braun, **Comercio Internacional e Imperialismo**, pg 63. Braun plantea la ecuación (*) como una fórmula que expresa las necesidades de divisas de un país desarrollado. Se ha cambiado esta formulación por una ecuación que describe los requerimientos fiscales.

3. Por cada incremento de la tasa de interés en un punto, nuestro país debe pagar 125 millones de dólares por intereses, lo que demanda más recursos fiscales. Es en realidad este efecto el que más incide en el incremento de la tasa de extracción y no el resultado teórico de la maximización de largo plazo.

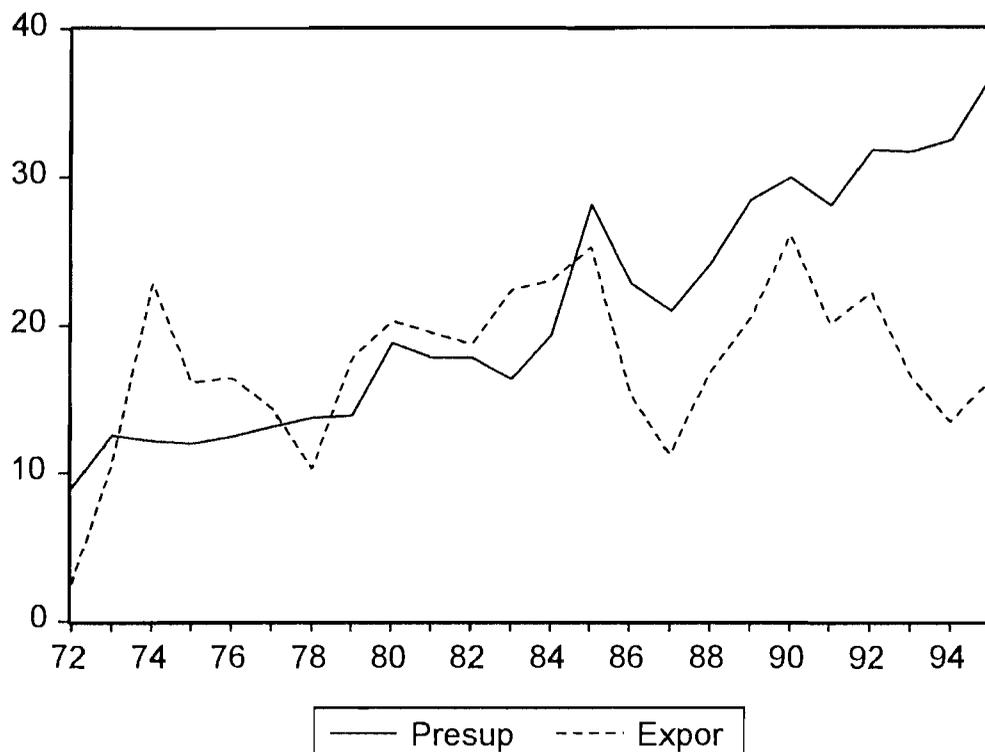
4. Los precios del petróleo son muy variables en el corto plazo y los precios futuros del petróleo sólo se pueden conocer, con un margen de incertidumbre, para unos pocos meses en adelante . Nuestro país enfrenta problemas de comercialización del crudo, por lo que se busca vender por adelantado con algunos meses de anticipación. Si se presenta un incremento en el precio del petróleo, los márgenes de maniobra están limitados por los compromisos de entrega y no se puede aprovechar estas circunstancias favorables.

Dos condiciones serían necesarias para que nuestro país pueda aprovechar de los incrementos inesperados en el precio del crudo: primero, los ingresos presupuestarios deberían tener un pequeño porcentaje de participación de los ingresos por la exportación petrolera y segundo y fundamentalmente, nuestro país debería tener reservas almacenadas en volúmenes comparables a varias semanas de extracción. Lamentablemente, ninguna de estas dos condiciones se cumplen.

4.2. Test econométrico

El siguiente gráfico nos presenta las series anuales de los ingresos presupuestarios totales y del total de las exportaciones de crudo. Los datos están en millones sucres de 1975. (Ver Anexo D)

Ingresos del Presupuesto y Exportaciones Petroleras



Intentemos verificar la correlación positiva entre las exportaciones petroleras y los ingresos del presupuesto nacional. La estimación econométrica se la realizará con los valores anuales en millones de sucres de 1975.

En los últimos tres años los ingresos provenientes de las ventas internas de combustibles han adquirido gran importancia en el financiamiento del presupuesto del estado, por esta razón se excluye de la regresión los datos correspondientes a los años 93-95.

Año	Ingresos por Ventas Internas de combust	% de los Ingresos Presup.
1983	9,200	15.12
1984	6,300	6.30
1985	27,600	14.48
1986	10,600	5.67
1987	19,400	8.19
1988	43,600	10.49
1989	85,418	10.22
1990	155,870	11.50
1991	206,470	11.40
1992	336,168	10.74
1993	808,800	18.75
1994	1,205,500	21.35
1995	1,648,100	20.87

Fuente : Banco Central

LS // Dependent Variable is EXPOR75

Date: 08/15/96 Time: 15:51

Sample: 1972 1992

Included observations: 21

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	8550.425	2953.242	2.895267	0.0096
INGRE75	0.497197	0.145112	3.426294	0.0030
DUM87	-7698.260	4616.802	-1.667444	0.1127
R-squared	0.435806	Mean dependent var	17741.32	
Adjusted R-squared	0.373117	S.D. dependent var	5680.960	
S.E. of regression	4497.953	Akaike info criterion	16.95432	
Sum squared resid	3.64E+08	Schwarz criterion	17.10354	
Log likelihood	-204.8181	F-statistic	6.951949	
Durbin-Watson stat	1.322071	Prob(F-statistic)	0.005792	

El ajuste no es bueno pues el coeficiente R2 es pequeño. El coeficiente Durbin-Watson es pequeño, por lo cual se corre una regresión con un término de autocorrelación del error:

LS // Dependent Variable is EXPOR75

Date: 08/15/96 Time: 15:49

Sample(adjusted): 1973 1992

Included observations: 20 after adjusting endpoints

Convergence achieved after 6 iterations

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	12140.63	3314.633	3.662736	0.0021
INGRE75	0.345991	0.155437	2.225931	0.0407
DUM87	-6561.057	3794.392	-1.729146	0.1030
AR(1)	0.193254	0.197285	0.979571	0.3419
R-squared	0.448325	Mean dependent var	18500.41	
Adjusted R-squared	0.344886	S.D. dependent var	4608.091	
S.E. of regression	3729.749	Akaike info criterion	16.62505	
Sum squared resid	2.23E+08	Schwarz criterion	16.82420	
Log likelihood	-190.6293	F-statistic	4.334191	
Durbin-Watson stat	2.154451	Prob(F-statistic)	0.020420	
Inverted AR Roots	.19			

El coeficiente R2 mejora ligeramente aunque el ajuste sigue siendo pobre. El coeficiente asociado a los ingresos presupuestarios totales es positivo y estadísticamente significativo a un nivel del %4. Hay una pequeña evidencia que confirma la hipótesis de que la exportaciones petroleras se justifican más por una necesidad de recursos fiscales que por una política de optimización.

Analicemos las cuentas mensuales en el período 1985 - 1992. Luego de probar algunos modelos de regresión, se ha visto que la mejor de ellas es la regresión que incluye a la variable rezagada como variable explicativa e incluye los datos de los ingresos del presupuesto del trimestre anterior. Los datos mensuales se han deflactado por el índice de precios al consumidor IPC. (Ver Anexo D)

LS // Dependent Variable is EXPOR

Date: 08/22/96 Time: 11:42

Sample(adjusted): 1985:03 1992:12

Included observations: 87

Excluded observations: 7 after adjusting endpoints

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	1.013531	4.710791	0.215151	0.8302
EXPOR(-1)	0.503502	0.099504	5.060107	0.0000
INGRES	0.061708	0.108090	0.570891	0.5696
INGRES(-1)	0.094421	0.093599	1.008777	0.3160
INGRES(-2)	0.163406	0.091853	1.778987	0.0789
R-squared	0.428994	Mean dependent var	26.78012	
Adjusted R-squared	0.401140	S.D. dependent var	7.941590	
S.E. of regression	6.145682	Akaike info criterion	3.687253	
Sum squared resid	3097.092	Schwarz criterion	3.828972	
Log likelihood	-278.8432	F-statistic	15.40155	
Durbin-Watson stat	1.954386	Prob(F-statistic)	0.000000	

Los datos se ajustan aceptablemente al modelo de regresión. Los coeficientes asociados a los ingresos presupuestarios totales son positivos pero no significativos. La conclusión es que los datos no permiten confirmar la hipótesis de que las exportaciones petroleras responden a requerimientos fiscales. Aparentemente la dinámica del presupuesto es bastante más compleja como para permitir una verificación econométrica de la ecuación (*). En mi opinión la ecuación (*) refleja una situación de largo plazo, período en el cual K varía.

CAPITULO V

Conclusiones

Las conclusiones más importantes que se desprenden de lo presentado en los capítulos anteriores son las siguientes:

1. El modelo de optimización muestra que la política óptima de extracción petrolera, que maximiza el valor presente del ingreso es la política que extrae y exporta el petróleo en función directa del precio: si aumenta el precio se debe exportar más y si este baja debemos exportar menos petróleo.
2. Si bien es cierto que la proporcionalidad directa entre la tasa de extracción y el precio del petróleo es una consecuencia directa del tipo de función utilizada en el modelo, del análisis de la solución del modelo de optimización se puede ver que para otro tipo de funciones de costo convexas, la dependencia entre precio y extracción es positiva.
3. La incorporación de los costos ambientales en la función de costos de extracción según el criterio de la economía ecológica presenta muchas dificultades o es imposible hacerlo, lo no constituye una oposición radical a la explotación petrolera sino mas bien un compromiso de entender la política petrolera como una problemática social en la cual deben tomar parte el gobierno nacional y los representantes de las comunidades donde se encuentran los yacimientos petrolíferos.
4. La función de costos cuadrática puede ser considerada una función normativa. Si los costos de extracción son altos la extracción óptima debe ser en niveles de menores a la capacidad actual del oleoducto, en este sentido los empeños por construir un nuevo oleoducto no tienen justificativo.
5. Algunos de los daños ambientales provocados por la explotación petrolera son irreversibles e imposibles de ser determinados. Aplicando el principio precautorio propuesto por los ambientalistas, que dice que cuando haya incertidumbre sobre los impactos ambientales producidos por las actividades económicas lo mejor será disminuir esta actividad hasta que se pueda conocer con certeza el impacto sobre el medio ambiente, el país no debería poner énfasis en la ampliación de la explotación petrolera.
6. Hay una incorrecta utilización de la palabra "producción petrolera". El petróleo no se produce, sino que se extrae. Es cierto que en la actividad de extracción hay la participación del trabajo humano y este trabajo debe estar valorado en el ingreso generado por la venta del petróleo. Desde este punto de vista es válida la propuesta de considerar al petróleo como un "capital natural" y que por tanto la mayor parte de los ingresos deberían ser utilizados para invertir, es decir para remplazar el "capital natural" por el "capital artificial". Nuestra política de utilizar los ingresos petroleros para el gasto corriente debe modificarse radicalmente por una política de inversión de estos recursos.

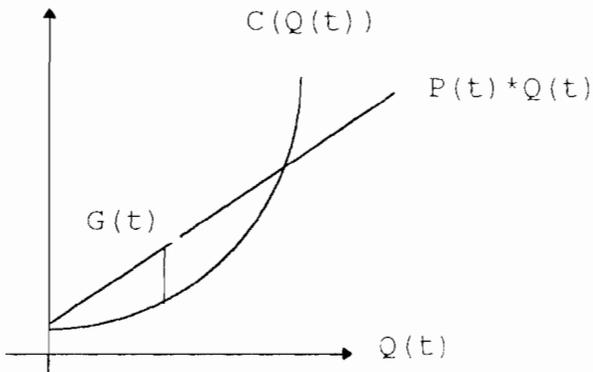
7. Los gobiernos deberían llevar a cabo políticas energéticas globales que tiendan a reemplazar la utilización de los derivados del petróleo por procesos energéticos más limpios.

ANEXO A

Optimización sin restricciones

En el corto plazo el problema de maximización es:

$$\text{Maximizar } \pi(Q(t)) = P(t)Q(t) - C'(Q(t)) \quad (A1)$$

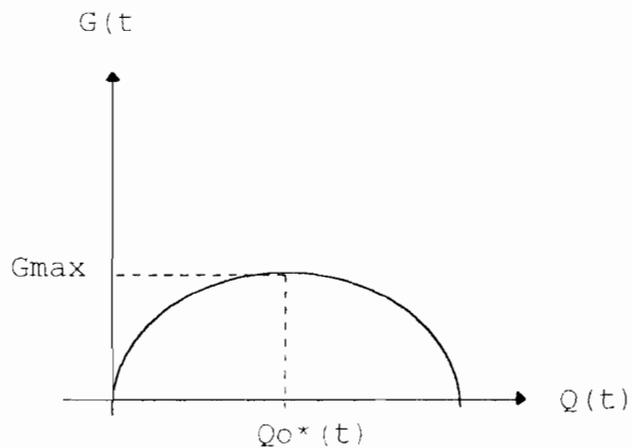


Gráficamente la ganancia neta $\pi(Q(t))$ ¹ es igual a la distancia vertical entre la recta de utilidad bruta PQ y la curva de costos $C'(Q(t))$. $\pi(Q(t))$ es una función cóncava pues:

$$\pi'(Q(t)) = P(t) - C''(Q(t))$$

$$\pi''(Q(t)) = -C'''(Q(t)) < 0$$

Gráficamente:



¹ En los gráficos la utilidad neta se representa con la letra G

Al ser $\pi(Q(t))$ una función cóncava existe un punto en el cual $\pi(Q(t))$ es máxima. Llamemos $Q_o^*(t)$ al óptimo. Notemos que a izquierda $Q_o^*(t)$ la ganancia aumenta cuando aumenta la extracción, por el contrario, a la derecha del punto $Q_o^*(t)$ la ganancia aumenta al disminuir la extracción.

Para encontrar el óptimo derivando (A1) respecto a $Q(t)$ e igualamos a cero

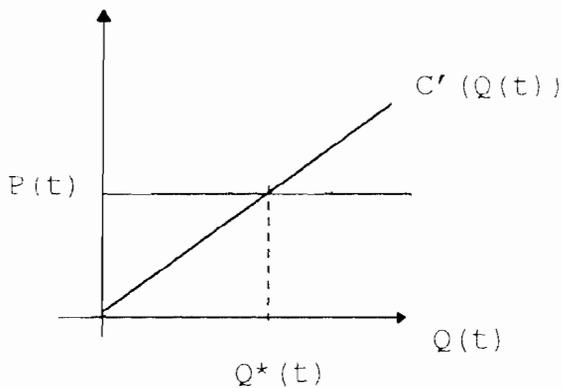
$$\pi'(Q(t)) = P(t) - C'(Q(t)) = 0$$

despejando

$$C'(Q^*(t)) = P(t) \quad (A2)$$

Observación . Esta solución explícita corresponde a:

$$Q^*(t) = Q_o^*(t)$$



Encontremos la solución explícita para la función de costos cuadrática. La ganancia neta es:

$$\pi(Q(t)) = P(t)Q(t) - (\beta/2)Q^2(t) \quad (A3)$$

Derivando (A3) respecto a $Q(t)$ e igualando a cero

$$\pi'(Q(t)) = P(t) - \beta Q(t) = 0$$

despejando $Q(t)$ obtenemos la solución.

$$Q^*(t) = P(t) / \beta \quad (A4)$$

Observación: En este caso

$$Q^*(t) = Q_o^*(t) = P(t) / \beta$$

En resumen las solución óptima implícita y explícita son respectivamente:

$$C''(Q^*(t)) = P(t) \quad (A2)$$

$$Q^*(t) = P(t) / \beta \quad (A4)$$

Optimización con la restricción del oleoducto

Al considerar la restricción del oleoducto en la extracción petrolera, el problema de optimización nos queda:

$$\text{Maximizar} \quad \pi(Q(t)) = P(t)Q(t) - C'(Q(t)) \quad (A5)$$

$$\text{sujeto a} \quad Q(t) \leq L \quad (A6)$$

Para resolver el problema (A5) sujeto a la condición (A6), hay que partir de la solución óptima del problema sin restricciones y luego considerar las limitaciones de transporte por el oleoducto.

Sea $Q_1^*(t)$ la solución óptima del problema sin restricciones.

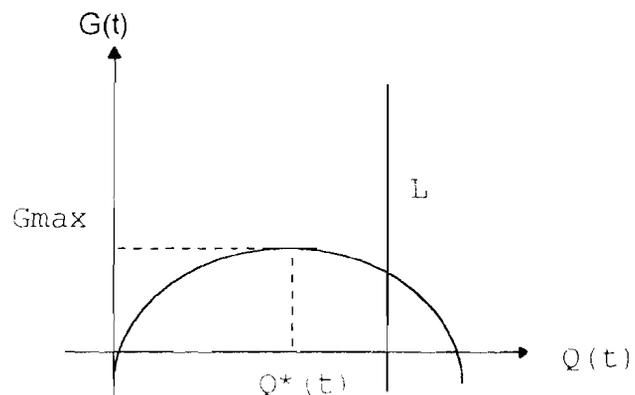
Tenemos dos casos:

$$\text{Caso 1.} \quad Q_1^*(t) \leq L$$

Si la capacidad de transporte del oleoducto es mayor que el óptimo de producción sin esta restricción, simplemente se produce en el nivel óptimo y el oleoducto estará subutilizado. Las soluciones óptimas implícita y explícita no cambian.

$$C''(Q^*(t)) = P(t) \quad (A2)$$

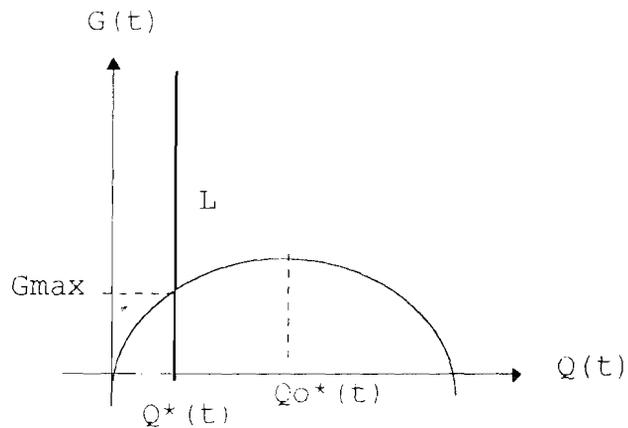
$$Q^*(t) = P(t) / \beta \quad (A4)$$



Caso 2. $Q_1^*(t) \leq L$

En este caso, la capacidad de transporte del oleoducto no permite extraer el número óptimo de barriles de petróleo. Por encontrarnos a la izquierda del punto de extracción óptimo $Q_0^*(t)$, la ganancia es máxima si se produce lo máximo posible, es decir que:

$$Q^*(t) = L$$



Resumiendo la solución implícita del problema de optimización del corto plazo con la restricción de transporte por el oleoducto es:

$$Q^*(t) = \begin{cases} Q_1^*(t) & \text{si } Q_1^*(t) \leq L \\ L & \text{caso contrario} \end{cases} \quad (A7)$$

La solución explícita para la función de costos cuadrática es:

$$Q^*(t) = \begin{cases} P(t) / \beta & \text{si } P(t) / \beta \leq L \\ L & \text{caso contrario} \end{cases} \quad (A8)$$

ANEXO B

El problema de optimización de largo plazo es:

$$\text{Maximizar} \quad \int_0^T [P(t)Q(t) - \beta Q^2(t) / 2] \exp(-rt) dt \quad (\text{B1})$$

$$\text{sujeto a} \quad \int_0^T Q(t) dt \leq A \quad (\text{B2})$$

Si $X(t)$ la reserva petrolera en el instante t , el petróleo extraído $Q(t)$ es igual al negativo de la variación de las reservas

$$Q(t) = -\frac{dX}{dt} \quad (\text{B3})$$

Además debe cumplirse la restricción

$$Q(t) \geq 0 \quad (\text{B4})$$

Resolvemos el problema de optimización (B1) por las técnicas de la programación dinámica. Introducimos $\lambda(t) \geq 0$ la variable de coestado asociada a la restricción (B2). Consideramos a (B3) y (B4) como condiciones de transversalidad, por tanto el hamiltoniano del problema de optimización es:

$$H = [P(t)Q(t) - (\beta / 2)Q^2(t)] \exp(-rt) - \lambda(t)Q(t) \quad (\text{B5})$$

Y las condiciones de optimización son:

$$1. \quad \frac{\partial H}{\partial Q} = 0 \quad 2. \quad \frac{\partial H}{\partial X} = -\frac{d\lambda}{dt}$$

De la condición 1. obtenemos:

$$[P(t) - \beta Q(t)] \exp(-rt) - \lambda(t) = 0 \quad (\text{B6})$$

De la condición 2. se desprende que $0 = -\lambda'(t)$, por tanto $\lambda(t)$ es una constante: $\lambda(t) = \lambda_0$. Reemplazando en (B6) y despejando obtenemos:

$$P(t) - \beta Q(t) = \lambda_0 \exp(rt) \quad (\text{B7})$$

Finalmente resolviendo para $Q(t)$ llegamos a:

$$Q(t) = P(t) / \beta - (\lambda_0 / \beta) \exp(rt) \quad (\text{B8})$$

$Q(t)$ definido por (B8) debe cumplir las dos condiciones de transversalidad;

$$\int_0^T Q(t) dt \leq A \quad (\text{B2})$$

$$Q(t) \geq 0 \quad (\text{B4})$$

Primero determinaremos la constante λ_0 con la condición (B2) y luego buscaremos que se cumpla (B4).

Remplazando (B8) en (B2)

$$\int_0^T [P(t) / \beta - \lambda_0 \exp(rt) / \beta] dt \leq A$$

Integrando el segundo término del integrando se obtiene:

$$\int_0^T [P(t) / \beta] dt - \lambda_0 \left(\frac{\exp(rT) - 1}{r\beta} \right) \leq A \quad (\text{B2}')$$

Notemos que la solución de largo plazo (B8) es igual a la solución de corto plazo (A4) menos el factor $\lambda_0 \exp(rt) / \beta$. Por otra parte, por encontramos a izquierda de $Q_0^*(t)$ mientras más grande sea λ_0 menos petróleo se va extraer y la ganancia será menor. Nos interesará cumplir la restricción (B2') con el mínimo valor de λ_0 .

Se presentan dos casos:

Caso 1.
$$\int_0^T [P(t) / \beta] dt \leq A$$

Esta condición implica que si extraemos siguiendo el proceso de optimización de corto plazo, las reservas de petróleo alcanzan para cubrir la extracción total en el período $[0, T]$. El primer término del lado izquierdo de (B2') es menor o igual que el lado derecho. Basta con poner $\lambda_0 = 0$ para que se cumpla la restricción. Por tanto la solución óptima (B8) se reduce a:

$$Q^*(t) = P(t) / \beta \quad (\text{B9})$$

Que es la solución de corto plazo (A4)

Caso 2.
$$\int_0^T [P(t) / \beta] dt > A$$

Esta condición implica que si extraemos siguiendo la pauta definida por la optimización de corto plazo, el total extraído superará las reservas iniciales, lo cual no es posible, por lo que la extracción debería suspenderse en algún instante $T' < T$. Sin embargo la programación dinámica muestra que es más eficiente disminuir una cierta cantidad del óptimo de corto plazo (ecuación B8). El petróleo que se va restando al

óptimo de corto plazo es un ahorro que nos permite extender la extracción en el intervalo de tiempo $[T', T]$

λ_0 debe tomar algún valor estrictamente positivo. Como el primer término del lado izquierdo de (B2') es mayor que el lado derecho, esta restricción se satisficará con igualdad, lo que permite despejar λ_0 .

$$\lambda_0 = \frac{r\beta}{(\exp(rT) - 1)} \left[\int_0^T (P(t) / \beta) dt - A \right] \quad (\text{B10})$$

La solución óptima será:

$$Q^*(t) = P(t) / \beta - \lambda_0 \exp(rt) / \beta \quad (\lambda_0 > 0) \quad (\text{B11})$$

Si para el valor de λ_0 definido por (B10), la solución (B11) cumple con $Q^*(t) \geq 0$ para todo instante t en el intervalo $[0, T]$, efectivamente hemos encontrado la solución óptima.

En la ecuación (B11) ocurrir que $Q^*(t) = P(t) / \beta - \lambda_0 \exp(rt) / \beta$ sea negativo. Por ejemplo si $P(t) < \lambda_0$ para algún instante t en el intervalo $[0, T]$, $Q^*(t) < 0$ será negativo pues la función exponencial es mayor que 1 para $t > 0$. Extraer una cantidad negativa de petróleo no tiene sentido económico.. La intuición nos dice que debemos redefinir $Q^*(t)$ igualándolo a cero en los instantes t en los cuales toma valores negativos.

La ecuación (B8) se transforma en:

$$Q(\lambda_0, t) = \begin{cases} P(t) / \beta - \lambda_0 \exp(rt) / \beta & \text{si } P(t) / \beta - \lambda_0 \exp(rt) / \beta \geq 0 \\ 0 & \text{caso contrario} \end{cases} \quad (\text{B12})$$

Notemos que Q depende de λ_0 y t .

Es suficiente que (B12) satisfaga la condición (B2) (con igualdad) para que se cumplan las condiciones de transversalidad

$$\int_0^T Q(\lambda_0, t) dt \leq A \quad (\text{B13})$$

Hay una aparente paradoja: λ_0 determina $Q(\lambda_0, t)$ y la integral de $Q(\lambda_0, t)$ determina λ_0 . En realidad λ_0 y $Q(\lambda_0, t)$ se determinan simultáneamente resolviendo el problema de optimización:

$$\text{Minimizar } \lambda o \quad (\text{B14})$$

$$\text{Sujeto a } \int_0^T Q(\lambda o, t) dt = A \quad (\text{B15})$$

Lamentablemente el problema (B14) sólo puede resolverse numéricamente. En compensación la resolución numérica es muy sencilla: corresponde a encontrar un mínimo con la restricción dada. Se puede aplicar, por ejemplo el método de la bisección que es un método muy conocido del cálculo numérico. La existencia de la solución está garantizada si $P(t)$ es una función continua en t .

En todo caso la solución es similar a la solución (B11)

$$Q^*(t) = P(t) / \beta - \lambda o \exp(rt) / \beta \quad (\lambda o > 0) \quad (\text{B11}')$$

Resumiendo la solución del problema de optimización de largo plazo sin la restricción del oleoducto es:

$$Q^*(t) = P(t) / \beta \quad (\text{B9})$$

$$Q^*(t) = P(t) / \beta - \lambda o \exp(rt) / \beta \quad (\lambda o > 0) \quad (\text{B11})$$

λo se calcula con la ecuación (B10). Si la solución (B11) es no nula para este valor, no hay nada más que hacer. Caso contrario λo se encuentra resolviendo el problema (B14) con la restricción (B15).

ANEXO C

El problema de optimización de largo plazo considerando la restricción de transporte por el oleoducto es:

$$\text{Maximizar} \quad \int_0^T [P(t)Q(t) - \beta Q^2(t) / 2] \exp(-rt) dt \quad (\text{C1})$$

$$\text{sujeto a} \quad \underline{Q}(t) = -\frac{dX}{dt} \quad (\text{C2})$$

$$\int_0^T Q(t) dt \leq A \quad (\text{C3})$$

$$Q(t) \geq 0 \quad (\text{C4})$$

$$Q(t) \leq L \quad (\text{C5})$$

Este problema es similar al de la optimización sin restricciones (anexo B) excepto que se ha añadido la restricción (C5). Análogamente al anexo B, consideramos (C5) una condición de transversalidad.

El proceso se repite hasta llegar a la ecuación (B8) que aquí renumeraremos como (C6)

$$\underline{Q}(t) = P(t) / \beta - \lambda_0 \exp(rt) / \beta \quad (\text{C6})$$

La solución dada por (c6) debe satisfacer las condiciones (C3), (C4) y (C5).

Definiendo:

$$\underline{Q}(\lambda_0, t, L) = \begin{cases} P(t) / \beta - \lambda_0 \exp(rt) / \beta & \text{si } 0 \leq P(t) / \beta - \lambda_0 \exp(rt) / \beta \leq L \\ L & \text{si } P(t) / \beta - \lambda_0 \exp(rt) / \beta > L \\ 0 & \text{si } P(t) / \beta - \lambda_0 \exp(rt) / \beta < 0 \end{cases}$$

Es claro que $\underline{Q}(\lambda_0, t, L)$ satisface las condiciones (C3) y (C4) resta por cumplir:

$$\int_0^T \underline{Q}(\lambda_0, t, L) dt \leq A$$

De manera similar a la última parte del anexo B, λ_0 se determina resolviendo el problema de optimización:

$$\text{Minimizar } \lambda o \quad (C7)$$

$$\text{Sujeto a } \int_0^T Q(\lambda o, t, L) dt = A \quad (C8)$$

Se pueden presentar dos soluciones:

Solución 1. $\lambda o = 0$

En este caso tenemos:

$$Q^*(t) = \begin{cases} P(t) / \beta & \text{si } P(t) / \beta \leq L \\ L & \text{caso contrario} \end{cases} \quad (C9)$$

Solución 2. $\lambda o > 0$

$$Q^*(t) = \begin{cases} P(t) / \beta - \lambda o \exp(rt) / \beta & \text{si } 0 \leq P(t) / \beta - \lambda o \exp(rt) / \beta \leq L \\ L & \text{si } P(t) / \beta - \lambda o \exp(rt) / \beta > L \\ 0 & \text{si } P(t) / \beta - \lambda o \exp(rt) / \beta < 0 \end{cases} \quad (C10)$$

La primera solución es igual a la solución de corto plazo (A8) y presupone que existen un nivel de reservas lo suficientemente grande como para que se pueda extraer el petróleo siguiendo un proceso de optimización de corto plazo.

La solución 2 corresponde al caso de que las reservas sean pequeñas. De ser así al óptimo de corto plazo de debe restar la cantidad $\lambda o \exp(rt) / \beta$. La función exponencial es creciente, es decir que al inicio se debe restar poco petróleo del óptimo y al final se debe disminuir mucho más.

El petróleo en la economía del Ecuador

La importancia del sector petrolero en la economía ecuatoriana puede verse en los siguientes cifras

Producto Interno Bruto (millones de sucres)

Año	Total	Petrolero	% del total
1972	76,493	7,462	9.80
1973	95,867	21,217	22.10
1974	102,046	18,570	18.20
1975	107,740	15,414	14.30
1976	117,679	18,289	15.50
1977	125,369	17,616	14.10
1978	133,632	19,750	14.80
1979	140,718	21,350	15.20
1980	147,622	20,519	13.90
1981	153,443	21,428	14.00
1982	155,265	21,278	13.70
1983	150,885	24,612	16.30
1984	157,226	26,707	17.00
1985	164,054	29,015	17.70
1986	169,136	29,772	17.60
1987	159,016	16,540	10.40
1988	175,742	29,797	17.00
1989	176,195	27,196	15.40
1990	181,531	28,790	15.90
1991	190,638	30,244	15.90
1992	197,436	32,338	16.40
1993	201,447	34,314	17.00
1994	210,150	37,004	17.61
1995	215,074	37,191	17.29

Fuente: Cuentas Nacionales - Banco Central

El petróleo crudo constituye en promedio el 15.71% en el producto interno bruto total en los años 1972-1995

Ingresos del Presupuesto Nacional
(millones de sucres)

Año	Total	Petróleo*	% del total	Otros	% del total
1972	5,495	505	9.20	4,990	90.81
1973	8,152	1,787	21.90	6,365	78.08
1974	11,067	3,304	29.90	7,763	70.15
1975	12,011	2,587	21.50	9,424	78.46
1976	14,108	3,036	21.50	11,072	78.48
1977	17,441	2,654	15.20	14,787	84.78
1978	19,659	2,166	11.00	17,493	88.98
1979	23,045	3,675	15.90	19,370	84.05
1980	37,388	14,331	38.30	23,057	61.67
1981	40,510	15,131	37.30	25,379	62.65
1982	47,787	20,945	43.80	26,842	56.17
1983	60,851	27,828	45.70	33,023	54.27
1984	99,924	46,804	46.80	53,120	53.16
1985	190,595	113,975	59.80	76,620	40.20
1986	186,803	73,612	39.40	113,191	60.59
1987	236,762	89,633	37.90	147,129	62.14
1988	415,456	164,798	39.70	250,658	60.33
1989	835,394	391,843	46.90	443,551	53.09
1990	1,355,164	690,352	50.90	664,812	49.06
1991	1,810,939	842,373	46.50	968,566	53.48
1992	3,129,791	1,537,698	49.10	1,592,093	50.87
1993	4,314,572	2,069,852	48.00	2,244,720	52.03
1994	5,647,643	2,345,187	41.53	3,302,456	58.47
1995	7,895,636	3,050,711	38.64	4,844,925	61.36

Fuente: Cuentas Nacionales - Banco Central

En los ingresos del presupuesto nacional la participación media del sector petrolero es 35.8%. Este resultado incluye la participación de los ingresos provenientes de las ventas internas de derivados.

Exportaciones (miles de US \$ FOB)

Año	Total	Petróleo	%	Precio por Barril (US \$)
1972	326,292	59,452	18.22	2.50
1973	532,046	282,057	53.01	4.20
1974	1,050,336	614,580	58.51	13.70
1975	973,662	587,118	60.30	11.50
1976	1,257,546	739,290	58.79	11.50
1977	1,436,274	702,280	48.90	13.00
1978	1,575,491	622,555	39.51	12.50
1979	2,104,233	1,036,212	49.24	23.50
1980	2,480,804	1,374,746	55.42	35.26
1981	2,167,975	1,175,144	54.20	34.48
1982	2,237,416	1,390,178	62.13	32.84
1983	2,225,646	1,551,535	69.71	28.08
1984	2,620,419	1,678,237	64.04	27.46
1985	2,904,736	1,824,662	62.82	25.90
1986	2,185,849	912,395	41.74	12.70
1987	1,927,694	645,773	33.50	16.35
1988	2,192,898	875,174	39.91	12.50
1989	2,353,881	1,032,698	43.87	16.22
1990	2,713,927	1,258,001	46.35	20.32
1991	2,851,416	1,058,990	37.14	16.16
1992	3,007,577	1,251,017	41.60	16.89
1993	3,061,678	1,149,024	37.53	14.42
1994	3,843,354	1,185,034	30.83	13.68
1995	4,361,548	1,395,465	31.99	14.83

Fuente: Cuentas Nacionales - Banco Central

La participación del petróleo en el total de las exportaciones ecuatorianas alcanza al 47% en el período 1972-1995.

La siguiente tabla nos presenta los datos mensuales de la variables utilizadas en la regresiones.

Año	Mes	Precio del barril (US \$)	Export. (miles de barr.)	Export. FOB (miles US \$)	Reservas Iniciales	Tipo de cambio Banco Central	Export (millones de sucres)	Presup (millones de sucres)	IPC
1980	Ene	36.64	3,673	134,589	1,490	25.0	3,365		112.6
	Feb	34.95	2,735	95,580	1,490	25.0	2,390		113.7
	Mar	35.09	2,630	92,269	1,490	25.0	2,307		116.2
	Abr	32.31	3,408	110,112	1,490	25.0	2,753		118.2
	May	34.99	4,347	152,098	1,490	25.0	3,802		120.1
	Jun	35.04	2,045	71,645	1,490	25.0	1,791		120.4
	Jul	35.04	2,266	79,381	1,490	25.0	1,985		122.1
	Ago	33.92	3,672	124,551	1,490	25.0	3,114		121.1
	Sep	32.30	2,104	67,964	1,490	25.0	1,699		121.8
	Oct	34.62	4,804	166,322	1,490	25.0	4,158		120.3
	Nov	37.63	3,347	125,957	1,490	25.0	3,149		121.3
	Dic	38.84	4,466	173,459	1,490	25.0	4,336		122.3
1981	Ene	40.45	2,899	117,257	1,495	25.0	2,931		124.4
	Feb	39.47	2,229	87,969	1,495	25.0	2,199		128.0
	Mar	38.01	3,379	128,411	1,495	25.0	3,210		131.7
	Abr	36.13	3,471	125,410	1,495	25.0	3,135		133.5
	May	34.03	4,175	142,078	1,495	25.0	3,552		136.2
	Jun	32.83	4,170	136,895	1,495	25.0	3,422		136.8
	Jul	32.38	1,642	53,183	1,495	25.0	1,330		137.1
	Ago	32.68	4,846	158,374	1,495	25.0	3,959		137.8
	Sep	32.30	2,853	92,151	1,495	25.0	2,304		138.9
	Oct	32.11	7,501	240,860	1,495	25.0	6,022		140.4
	Nov	33.90	3,925	133,050	1,495	25.0	3,326		142.9
	Dic	33.90	4,231	143,423	1,495	25.0	3,586		143.4
1982	Ene	33.95	2,555	86,729	1,582	25.0	2,168		145.1
	Feb	34.08	3,265	111,282	1,582	25.0	2,782		146.3
	Mar	33.87	2,649	89,699	1,582	30.3	2,718		148.1
	Abr	31.62	3,331	105,301	1,582	30.3	3,191		150.2
	May	33.41	3,685	123,092	1,582	33.4	4,106		151.7
	Jun	32.54	2,444	79,526	1,582	35.3	2,807		153.9
	Jul	30.23	3,211	97,074	1,582	35.3	3,427		156.9
	Ago	32.55	3,405	110,830	1,582	35.3	3,912		159.8
	Sep	34.38	3,432	117,970	1,582	35.3	4,164		162.2
	Oct	30.04	3,692	110,893	1,582	35.3	3,915		169.3
	Nov	31.77	2,490	79,117	1,582	35.3	2,793		174.7
	Dic	31.98	2,274	72,706	1,582	35.3	2,567		178.4
1983	Ene	28.90	3,784	109,350	1,628	35.3	3,860		186.1
	Feb	28.55	2,609	74,497	1,628	35.3	2,630		190.6
	Mar	26.45	6,909	182,738	1,628	70.7	12,920		196.4
	Abr	26.94	5,286	142,403	1,628	72.6	10,331		205.9
	May	27.87	4,114	114,666	1,628	79.8	9,150		220.3

	Jun	27.62	5,474	151,195	1,628	82.6	12,490		233.0
	Jul	27.37	3,230	88,387	1,628	90.3	7,983		245.5
	Ago	28.25	4,533	128,065	1,628	90.5	11,587		255.2
	Sep	28.38	3,779	107,254	1,628	88.5	9,488		265.1
	Oct	28.25	4,929	139,228	1,628	85.2	11,855		272.7
	Nov	27.97	4,062	113,613	1,628	84.2	9,568		272.1
	Dic	27.08	5,562	150,635	1,628	87.9	13,242		272.0
1984	Ene	27.15	5,128	139,216	1,969	89.9	12,511		278.6
	Feb	27.76	5,586	155,062	1,969	89.8	13,928		283.6
	Mar	27.72	3,728	103,333	1,969	89.8	9,281		290.6
	Abr	27.63	5,147	142,231	1,969	89.8	12,775		298.0
	May	27.67	5,019	138,866	1,969	90.2	12,527		301.7
	Jun	27.67	5,569	154,116	1,969	89.4	13,772		303.4
	Jul	27.64	4,757	131,495	1,969	90.7	11,920		307.3
	Ago	27.67	4,950	136,959	1,969	96.3	13,193		313.0
	Sep	27.67	5,974	165,289	1,969	97.0	16,030		317.9
	Oct	27.67	5,617	155,402	1,969	96.5	14,996		324.9
	Nov	27.57	3,908	107,749	1,969	96.5	10,398		334.5
	Dic	26.82	5,537	148,517	1,969	96.5	14,332		340.2
1985	Ene	25.44	4,960	126,194	2,075	96.5	12,178	11,545	362.0
	Feb	26.56	6,401	170,019	2,075	96.5	16,407	7,736	366.2
	Mar	26.67	5,801	154,734	2,075	96.5	4,932	12,147	372.9
	Abr	26.73	4,529	121,047	2,075	96.5	11,681	16,314	383.9
	May	26.68	5,261	140,357	2,075	96.5	13,544	14,761	388.5
	Jun	26.16	4,908	128,399	2,075	96.5	12,391	21,873	396.1
	Jul	25.22	6,540	164,933	2,075	96.5	15,916	15,441	402.3
	Ago	25.71	6,323	162,591	2,075	96.5	15,690	14,760	403.1
	Sep	25.90	5,550	143,747	2,075	96.5	13,872	20,324	406.6
	Oct	25.86	7,058	182,484	2,075	96.5	17,610	16,804	408.9
	Nov	26.81	7,032	188,520	2,075	96.5	18,192	17,758	414.1
	Dic	24.74	5,725	141,637	2,075	96.5	13,668	21,137	423.1
1986	Ene	23.05	6,543	150,847	2,264	98.3	14,834	17,950	437.0
	Feb	14.31	5,976	85,540	2,264	110.0	9,409	15,654	448.1
	Mar	11.35	6,565	74,525	2,264	110.0	8,198	17,301	456.8
	Abr	11.16	5,854	65,306	2,264	110.0	7,184	13,466	465.5
	May	12.80	6,868	87,886	2,264	110.0	9,667	12,089	469.3
	Jun	10.61	6,186	65,624	2,264	110.0	7,219	15,282	474.7
	Jul	8.68	6,347	55,076	2,264	110.0	6,058	14,511	478.3
	Ago	11.59	5,888	68,266	2,264	131.4	8,970	10,524	491.5
	Sep	12.05	5,556	66,964	2,264	150.6	10,087	16,340	503.9
	Oct	12.22	5,223	63,834	2,264	147.0	9,384	16,988	521.4
	Nov	12.44	5,736	71,360	2,264	147.0	0,490	15,956	531.2
	Dic	13.69	4,177	57,170	2,264	147.0	8,404	20,747	538.8
1987	Ene	16.69	7,292	121,705	2,729	147.0	17,891	17,887	548.5
	Feb	15.98	5,492	87,748	2,729	147.0	12,899	19,799	562.4
	Mar	15.96	348	5,562	2,729	147.0	818	23,682	591.4
	Abr		0		2,729	150.7		15,564	603.0

	May		0		2,729	155.6		14,347	611.3
	Jun		0		2,729	159.6		19,152	625.2
	Jul		0		2,729	163.5		21,811	631.1
	Ago	16.72	1,831	30,619	2,729	170.0	5,204	16,436	637.8
	Sep	17.08	5,329	91,034	2,729	185.6	16,891	17,056	650.9
	Oct	17.39	7,046	122,542	2,729	199.0	24,386	23,409	663.5
	Nov	16.01	5,840	93,494	2,729	211.7	19,796	26,170	693.7
	Dic	14.65	6,352	93,069	2,729	215.1	20,019	21,449	713.8
1988	Ene	14.36	5,216	74,897	2,714	225.0	16,852	32,333	736.9
	Feb	13.74	6,505	89,389	2,714	244.0	21,806	28,344	773.7
	Mar	12.82	6,465	82,881	2,714	249.6	20,685	34,467	808.4
	Abr	14.01	5,333	74,728	2,714	250.0	18,682	25,010	864.2
	May	14.13	6,296	88,972	2,714	250.0	22,243	24,124	904.8
	Jun	13.64	5,889	80,320	2,714	250.0	20,080	28,117	937.1
	Jul	12.71	5,781	73,474	2,714	250.0	18,369	33,799	982.8
	Ago	12.86	5,849	75,203	2,714	257.3	19,346	34,725	1039.3
	Sep	11.60	4,777	55,404	2,714	415.5	23,019	38,379	1116.2
	Oct	10.42	6,543	68,208	2,714	427.0	29,122	41,122	1177.0
	Nov	10.08	5,520	55,642	2,714	438.6	24,407	47,963	1251.8
	Dic	12.89	4,350	56,056	2,714	449.8	25,211	47,077	1325.6
1989	Ene	14.71	6,006	88,320	2,722	461.3	40,741	51,769	1395.8
	Feb	15.12	4,790	72,418	2,722	472.5	34,218	67,850	1477.2
	Mar	15.90	4,679	74,401	2,722	483.4	35,962	69,697	1609.7
	Abr	18.40	5,461	100,476	2,722	494.8	49,718	60,839	1652.9
	May	16.74	4,820	80,681	2,722	515.2	41,567	78,161	1670.6
	Jun	16.01	5,569	89,186	2,722	535.3	47,742	61,914	1727.5
	Jul	16.08	5,381	86,523	2,722	549.0	47,501	82,632	1750.9
	Ago	15.19	4,033	61,246	2,722	563.0	34,478	67,666	1796.4
	Sep	15.83	5,534	87,613	2,722	576.8	50,532	64,337	1882.9
	Oct	16.63	5,150	85,628	2,722	595.6	51,001	73,409	1932.4
	Nov	16.89	6,909	116,654	2,722	617.9	72,080	73,269	1992.4
	Dic	18.07	4,957	89,572	2,722	640.4	57,361	83,855	2044.7
1990	Ene	18.95	4,493	85,123	2,832	663.7	56,500	96,529	2121.2
	Feb	18.67	4,379	81,737	2,832	676.6	55,301	73,157	2219.4
	Mar	17.42	4,632	80,702	2,832	709.0	57,221	103,251	2312.3
	Abr	12.74	4,547	57,943	2,832	726.4	42,090	95,254	2417.1
	May	12.33	7,925	97,717	2,832	742.2	72,527	97,940	2487.6
	Jun	12.08	5,350	64,602	2,832	757.7	48,948	100,857	2550.9
	Jul	14.09	4,685	66,030	2,832	793.6	52,400	97,607	2632.2
	Ago	24.95	4,623	115,335	2,832	816.3	94,148	105,773	2674.3
	Sep	30.19	4,951	149,464	2,832	831.6	124,288	144,189	2767.0
	Oct	31.28	5,554	173,711	2,832	847.3	147,182	163,460	2865.1
	Nov	28.48	5,939	169,139	2,832	863.3	146,011	130,249	2985.7
	Dic	23.72	4,911	116,498	2,832	878.4	102,336	146,898	3057.3
1991	Ene	20.34	4,053	82,419	2,977	906.6	74,724	103,662	3191.4
	Feb	14.78	6,702	99,052	2,977	963.8	95,470	99,143	3315.0
	Mar	15.13	6,111	92,435	2,977	977.7	90,375	143,001	3445.0

	Abr	16.31	2,774	45,251	2,977	993.5	44,958	175,277	3556.7
	May	15.72	6,881	108,174	2,977	1009.6	109,216	122,953	3707.8
	Jun	15.42	6,321	97,449	2,977	1024.9	99,870	142,792	3800.7
	Jul	16.28	5,009	81,564	2,977	1055.3	86,075	156,259	3868.3
	Ago	16.61	5,772	95,852	2,977	1098.0	105,243	166,762	3973.3
	Sep	16.78	4,683	78,570	2,977	1113.5	87,488	164,437	4153.6
	Oct	17.92	5,562	99,652	2,977	1129.3	112,537	175,951	4286.8
	Nov	16.77	5,945	99,680	2,977	1177.6	117,380	165,792	4383.1
	Dic	14.49	5,443	78,885	2,977	1275.1	100,589	194,914	4554.9
1992	Ene	14.45	6,172	89,195	3,639	1291.3	115,175	157,171	4752.4
	Feb	14.84	6,529	96,909	3,639	1306.4	126,599	140,155	4916.3
	Mar	15.12	4,317	65,290	3,639	1322.1	86,318	210,864	5054.8
	Abr	16.49	5,380	88,714	3,639	1349.1	119,680	236,548	5321.6
	May	17.32	6,915	119,767	3,639	1368.8	163,936	197,355	5518.6
	Jun	18.85	6,487	122,285	3,639	1436.2	175,627	254,378	5716.2
	Jul	17.97	6,166	110,834	3,639	1452.0	160,925	222,712	5869.7
	Ago	17.37	6,393	111,056	3,639	1468.1	163,037	263,805	6049.0
	Sep	17.89	6,633	118,693	3,639	1928.6	228,913	190,035	6687.5
	Oct	17.83	8,025	143,126	3,639	2000.0	286,252	477,552	7107.6
	Nov	16.78	4,946	83,009	3,639	2000.0	166,018	335,518	7183.6
	Dic	15.92	6,417	102,131	3,639	2000.0	204,262	322,467	7298.0
1993	Ene	15.30	6,583	100,757	3,857	2000.0	201,514	337,967	7530.7
	Feb	16.06	5,178	83,173	3,857	2000.0	166,346	319,569	7661.0
	Mar	16.36	6,918	113,200	3,857	2000.0	226,400	296,815	7888.5
	Abr	16.26	5,985	97,294	3,857	2000.0	194,588	392,958	8174.8
	May	16.03	7,506	120,313	3,857	2000.0	240,626	282,253	8543.9
	Jun	14.92	6,244	93,180	3,857	2000.0	186,360	329,254	8699.4
	Jul	13.79	6,954	95,875	3,857	2000.0	191,750	396,111	8803.8
	Ago	14.22	7,517	106,881	3,857	2000.0	213,762	429,362	8840.7
	Sep	13.56	6,851	92,910	3,857	1951.0	181,267	350,633	9067.4
	Oct	14.10	5,680	80,095	3,857	1939.0	155,304	392,836	9350.8
	Nov	12.59	7,310	92,052	3,857	1974.0	181,711	338,288	9502.9
	Dic	10.51	6,972	73,294	3,857	2029.0	148,714	448,531	9557.5
1994	Ene	11.43	6,493	74,181		2095.0	155,409		9725.0
	Feb	11.65	6,095	70,978		2086.0	148,060		10115.3
	Mar	11.69	7,777	90,948		2147.0	195,265		10382.8
	Abr	13.26	6,754	89,574		2164.0	193,838		10693.9
	May	14.51	6,940	100,717		2168.0	218,354		10841.2
	Jun	14.73	6,067	89,367		2184.0	195,178		11006.1
	Jul	15.11	7,895	119,279		2206.0	263,129		11073.2
	Ago	14.75	7,849	115,751		2253.0	260,787		11243.7
	Sep	13.94	8,839	123,253		2262.0	278,798		11446.4
	Oct	14.01	7,649	107,164		2283.0	244,655		11579.3
	Nov	14.67	7,292	106,996		2309.0	247,054		11831.3
	Dic	13.85	6,990	96,826		2297.0	222,409		11983.5
1995	Ene	14.60	7,297	106,559		2379.0	253,504		12340.8
	Feb	15.16	6,781	102,814		2409.0	247,679		12489.6

	Mar	15.29	7,694	117,611		2417.0	284,266		12736.5
	Abr	16.45	8,410	138,354		2437.0	337,169		13063.9
	May	16.38	8,287	135,712		2459.0	333,716		13319.0
	Jun	15.14	7,215	109,207		2559.0	279,461		13479.6
	Jul	14.01	6,691	93,751		2578.0	241,690		13569.6
	Ago	14.45	8,362	129,521		2609.0	337,920		13714.8
	Sep	14.27	6,465	92,228		2630.0	242,560		14058.9
	Oct	13.68	9,388	128,462		2681.0	344,407		14234.9
	Nov	13.77	8,371	123,528		2880.0	355,761		14456.6
	Dic	14.87	7,918	117,718		2922.0	343,972		14712.6

Fuentes: Petroecuador - Banco Central - INEC

BIBLIOGRAFIA

ACCION ECOLOGICA, **Debate Ecológico Sobre el Problema Petrolero en el Ecuador**, Quito, 1993.

AGUILERA KLINK, F., "Economía del Medio Ambiente: Notas para un estado de la cuestión" en **Cuadernos de Economía**, Vol 19, 1991.

AMIN, S., **La acumulación a escala mundial**, Siglo XXI, México, 1975.

AMIN, S., "Can Environmental Problems be subject to Economic Calculations" en **World Development**, V20, Num 4, Editorial AC, Londres, 1992.

BADIOU, A., **El concepto de Modelo, bases para una epistemología materialista de las matemáticas**, Siglo XXI, Madrid, 1978.

BANCO CENTRAL DEL ECUADOR, **Cuentas Nacionales**, Num 6 - 16, Quito.

BRAUN, O., **Comercio Internacional e Imperialismo**, Siglo XXI, 1973.

COMISION DE LAS COMUNIDADES EUROPEAS Y REPUBLICA DEL ECUADOR, **Efectos de la Explotación Petrolera en la Amazonía Ecuatoriana**, Quito, 1994.

CONSTANZA, R., ed., **Ecological Economics**, Columbia V.P., 1991.

CHIANG, A., **Métodos Fundamentales de Economía Matemática**, McGraw Hill, México, 1992.

CHIANG, A., **Elements of Dinamic Optimization**, McGraw Hill, New York, 1990.

DALY, H., GOODLAND, et al, **Environmentally sustainable economic development**, Uniandes, Bogota, 1991.

DALY, H. y COOB, J., **For the Common Good**, Beacon Press, Boston, 1989.

De ROSNAY, J., **El Macroscopio**, Editorial AC, madrid, 1975.

DeSERPA, A., "Pigou and Coase in retrospect" en **Cambridge Journal of Economics**, V17, Num 1, London, Marzo 1993.

DIXIT, A., **Optimization in Economic Theory**, Oxford University Press, Oxford, 1990.

DORYAN, E. y LOPEZ, G. eds, **Transición hacia una Economía no petrolera en el Ecuador**, INCAE, Quito, 1992.

FABER, M., NIEMENS, H. y STEPHAN, G., **Entropy, Environment and Resources**, Springer Verlag, Berlín, 1983.

HOGARTH, R. y REDER, M., eds, **Rational Choice: The contrast between Economics and Psychology**, The University of Chicago Press, Chicago, 1986.

INFORME BRUNDTLAND, **Nuestro Futuro Común**, Oxford University Press, Oxford, 1987.

LILLENFIELD, **Teoría de sistemas: orígenes y aplicaciones a las ciencias sociales**, Ed. Trillas, México, 1984.

MARTINEZ ALIER, J., **La Ecología y la Economía**, Fondo de Cultura Económica, México, 1991.

MARTINEZ ALIER, J., **De la Economía Ecológica al Ecologismo Popular**, 2a. ed. Icaria, Barcelona, 1994a.

MARTINEZ ALIER, J., **Curso Intensivo de Economía Ecológica**. Quito, 1994b.

MINISTERIO DE RELACIONES EXTERIORES DEL ECUADOR, **La Gestión Ambiental en el Ecuador**, Quito, 1993.

MUNDA, NIJKAMP y RIETVELD, "Qualitative Multicriteria Evaluation for environmental management" en **Ecological Economics**, V10, 1994.

PEARCE y TURNER, **Economics of Natural Resources and Environment**, Johns Hopkins University Press, Baltimore, 1990.

PETROECUADOR, **Informe Estadístico de la Actividad Hidrocarburífera del País. Período 1972-1991**, Quito, 1993.

TIETENBERG, J, **Environmental and Natural Resource Economics**, Scott, Foresman and Company, Boston, 1988.

VOGEL, J., "Una Alternativa de Mercado para la Valoración de la Biodiversidad: El caso del Ecuador" en **Gestión**, Quito, Noviembre de 1995.