



CIES
consorcio de investigación
económica y social



SOSTENIBILIDAD E INGRESO DEL SECTOR HIDROCARBUROS PERUANO

Carlos Orihuela Romero
Departamento de Economía y Planificación – UNALM
corihuela@lamolina.edu.pe

INFORME FINAL

Resumen

El objetivo del presente estudio es determinar si el desarrollo del sector hidrocarburos estuvo en la senda sostenible durante el periodo 1992-2007. Para tal efecto se utilizó el indicador de *inversión genuina* propuesto por Dasgupta-Mäler, el cual evalúa el cambio en la riqueza. Los resultados indican que el sector hidrocarburos ha estado en la senda optima; sin embargo, ello no ha sido consecuencia de un proceso de reinversión de las rentas (canon, regalías) sino del carácter oscilante de los nuevos descubrimientos. Esto es peligroso ya que no hay garantía que el aparente desarrollo actual se mantenga incluso en el futuro cercano.

Abstract

The main purpose of this study is to determine whether hydrocarbon sector development was sustainable or not during the 1992-2007 period. This study used the Dasgupta-Mäler criterion called *genuine investment* which is based on the maintenance of wealth during a certain period. According to results, hydrocarbon sector has been on the sustainable path; however, it depended on the random nature of new discoveries rather than a proper rents reinvestment process. This is dangerous to society, because the maintenance of the current development is not necessarily guaranteed for the near future.

INDICE

1.	Introducción	3
2.	Evolución del sector hidrocarburos: 1980-2007	4
3.	Marco teórico	9
3.1	Desarrollo sostenible, utilidad, riqueza, bienestar social y ahorro genuino	9
3.2	Medidas tradicionales y ajustadas de ingreso sectorial	13
4.	Metodología y calculo	16
4.1	Riqueza e inversión genuina del sector hidrocarburos	16
4.1.1	Capital manufacturado	16
4.1.2	Capital natural	16
4.1.3	Capital humano	18
4.2	Ingreso ajustado del sector hidrocarburos	19
4.2.1	PNN	19
4.2.2	Precios sombra de los stocks de capital	19
4.2.3	Valor marginal de los descubrimientos	20
4.2.4	Valor del servicio ambiental	20
5.	Resultados	22
5.1	Riqueza e inversión genuina	22
5.2	Ingreso verde	26
6.	Conclusiones y recomendaciones	28
7.	Referencias	30

1. Introducción

El sector hidrocarburos viene concentrando una creciente importancia exploratoria y extractiva en el Perú, lo cual se traduce en mayores ingresos al Estado y una creciente dinámica alrededor del sector. Al mismo tiempo significa que el recurso natural (ya sea petróleo, gas natural u otro derivado) será extraído y eventualmente agotado, y por lo tanto es necesario no solo hacer un uso óptimo del mismo sino también reinvertir eficientemente sus rentas. Una gestión inapropiada podría peligrar la satisfacción de necesidades de las próximas generaciones. Es necesario analizar si el actual desarrollo del sector realmente garantizará un nivel de bienestar al menos similar en el futuro.

Ha sido costumbre utilizar las medidas convencionales de ingreso -como el producido interno bruto (PIB) o el producto nacional neto (PNN)- para evaluar el desarrollo. El problema es que estas medidas no permiten inferir satisfactoriamente sobre el desarrollo futuro. Cuando un país extrae sus recursos naturales no renovables, eventualmente incrementa su dinámica económica y su PIB, pero al mismo tiempo reduce su stock de capital natural, mermando la capacidad de generar ingresos en el futuro. De esta forma, un país puede tener un PIB creciente durante un corto periodo y luego presentar niveles decrecientes de ingreso. En otras palabras, el PIB no permite evaluar apropiadamente si el desarrollo de una economía puede al menos mantenerse en el tiempo o es *sostenible*. Esto es un verdadero problema para las economías altamente dependientes de la venta de sus recursos naturales no renovables.

Por ello, Dasgupta y Máler (2001) propusieron el indicador *inversión genuina* como el más apropiado para evaluar el desarrollo sostenible. Este indicador consiste en medir el cambio del valor de la base productiva o riqueza de una economía durante un periodo de tiempo. Este indicador goza de consenso en la literatura económica siendo utilizado por el World Bank (2006) para determinar la sostenibilidad de las economías de sus países miembros. A diferencia del grueso de los modelos planteados en la economía, este indicador no asume que el Estado maximiza el bienestar social ni requiere optimizar los recursos o capital, ya que simplemente se basa en el pronóstico o mapeo del capital inicial hacia otro conjunto de programas económicos.

Por tanto, el objetivo del presente estudio es determinar si el desarrollo del sector hidrocarburos peruano estuvo en la senda sostenible durante el periodo 1992-2007 utilizando el indicador *inversión genuina*. Adicionalmente se calculan medidas de ingreso sectorial para ser contrastadas con el indicador obtenido y resaltar las posibles implicancias de su uso en la toma de decisiones.

Para tal efecto, en la sección 2 se comenta brevemente la reciente evolución del sector hidrocarburos en el Perú. En la sección 3 se establece el marco teórico en el cual se analiza no solo los conceptos de desarrollo sostenible, inversión genuina e ingreso verde sino además se establecen los modelos tanto para medir la sostenibilidad como el ingreso verde del sector hidrocarburos. La metodología y cálculo se comenta en la sección 4 mientras que en la sección 5 se discuten los resultados. Finalmente, las conclusiones y recomendaciones de política se muestran en la sección 6.

2. Evolución del sector hidrocarburos: 1980-2007

Históricamente, el sector hidrocarburos en el Perú ha dependido principalmente de la extracción y venta de petróleo crudo. En tiempos recientes los líquidos de gas natural (LGN) han tenido una participación creciente desde la puesta en marcha del Proyecto Camisea (actualmente una realidad), dirigido por la empresa extranjera Pluspetrol.

Este sector ha variado conforme a las condiciones legales y tributarias para la inversión. La situación social y económica del Perú en los 80s, aunada a una coyuntura mundial de precios estables y bajos desincentivo la actividad exploratoria aunque la producción de petróleo crudo se mantuvo prácticamente constante.

A inicios de los años noventa se estableció un marco legal y tributario muy favorable para atraer inversiones. Este proceso ocurrió al mismo tiempo que el “boom” de las exploraciones en América Latina, el cual explica los altos niveles de inversión en actividades exploratorias (*GE*) a fines de la década pasada (Cuadro 1). Esos niveles estuvieron también asociados a la subida inusitada en el precio del petróleo crudo.

Esto no solo significó un interés en buscar nuevos yacimientos sino además un clima de confianza para inversiones en activo fijo (*AFN*), nuevos pozos (y mejorar los existentes) cuyo número ha fluctuado sustancialmente durante el periodo 1991-2007 aunque en tiempos recientes no se ha retomado los altos niveles de inicios de los

90s (debido -entre otros motivos- al cierre y/o venta de empresas petroleras). Este nivel aumentó en el año 2004 debido a la puesta en marcha del proyecto Camisea.

Cuadro 1: Cuentas del sector hidrocarburos (US\$ millones 1994)

Año	VBP	PIB	AFN	GE
1992	739	358	522	56
1993	770	384	1349	32
1994	633	382	812	24
1995	650	346	895	38
1996	626	332	491	92
1997	622	325	604	157
1998	621	324	872	330
1999	571	302	926	109
2000	538	283	366	7
2001	527	277	397	20
2002	509	279	1213	19
2003	467	267	1124	6
2004	468	286	999	16
2005	558	353	798	29
2006	620	373	754	28
2007	660	397	814	75
TC ₁₉₉₂₋₂₀₀₇ (%)	-11	12	-	-

TC = tasa promedio de cambio; VBP = valor bruto de la producción; PIB=producto interno bruto; AFN=activo fijo neto; GE=gastos de exploración.

Fuente: MINEM (2000; 2008); CONASEV (varios años); PeruTop 10000 (varios años)

Elaboración propia

El sector hidrocarburos ha sido uno de los sectores que más ingresos ha aportado al Estado, aunque también ha sido uno de los más conflictivos con el ambiente. Durante la década de los 90s los ingresos del sector (valor bruto de la producción, VBP) en términos reales, han caído paulatinamente (-11% en el periodo 1992-2007) como consecuencia de bajos niveles de extracción. A inicios de los 90s, la participación del producto interno bruto sectorial (PIB) en relación al producto interno bruto total fue apenas 0.9%, porcentaje que incluso se ha reducido hasta 0.4% en la actualidad.¹ Esto tiene que ver con el mayor desarrollo de otras actividades económicas pero también con el escaso valor agregado que toda industria extractiva genera. A pesar de la caída en de su contribución, el PIB creció 12% en el periodo en análisis.

De otro lado, los aportes del sector hidrocarburos se pueden agrupar en tres rubros: impuesto a la renta, beneficios netos, regalías y canon petrolero (Cuadro 2). Para el

¹ En base a la información del Banco Central de Reserva del Perú (2009)

periodo 1992-2007, el impuesto a la renta (3ra categoría) ha sido la mayor contribución del sector hacia el Estado (US\$ 1797 millones), seguido por las regalías (US\$ 1395 millones) que son aportes hechos por las empresas que extraen LGN y gas natural. Los beneficios netos de las empresas privadas fue US\$ 680 millones, los cuales estuvieron principalmente asociados a los altos precios del petróleo crudo durante los últimos años de la presente década, aunque aún no alcanzan los niveles observados a inicios de los 90s.² La mayor parte de las regalías de ese periodo (US\$ 1336 millones) han sido por concepto de LGN y en menor cuantía por la extracción de gas natural. Tanto la regalía y el canon del sector hidrocarburos equivale a una fracción del ingreso de cada empresa.

Respecto al petróleo, su extracción desde inicios de los 80s ha sido gradualmente decreciente debido principalmente al agotamiento de algunos yacimientos. En la primera mitad de la presente década, los niveles de extracción de petróleo crudo se redujeron debido mayormente a la caída en su precio. Las reservas totales de petróleo han sido crecientes desde los 80s.

La mayor inversión en actividades de exploración conlleva a un aumento en las reservas totales (reservas probadas más probables) de petróleo crudo, principalmente en reservas probables³ ya que las reservas probadas cayeron paulatinamente (Grafico 1), lo cual aunado a una mayor producción implicaría un mayor déficit de producción en el futuro cercano lo cual no es deseable.

Cuadro 2: Contribuciones del sector hidrocarburos (US\$ millones 1994)

Año	Impuesto a la renta	Beneficios Netos	Regalía			Canon petrolero
			Líquidos	Gas	Total	
1992	0	-62	0	0	0	102
1993	0	82	0	0	0	87
1994	0	132	49	1	50	73
1995	0	50	52	1	53	78
1996	0	109	62	1	63	87

² Hasta inicios de los 90s, la mayor parte de la producción nacional de petróleo crudo estuvo en manos de la empresa estatal PETROPERU, la cual al parecer tuvo una gestión ineficiente. El lector puede revisar Campodonico (1999) y Manco (2002) quienes analizan el tema. En todo caso, la subida en los costos de producción, precios de transferencia, reinversión de beneficios netos y otros hacen que una subida en los precios no necesariamente conlleven a mayores beneficios.

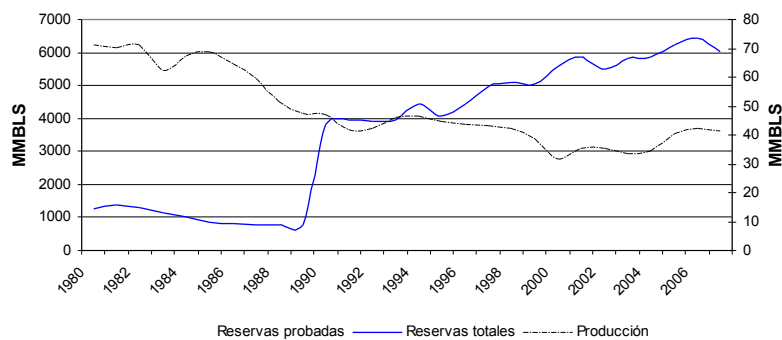
³ Las reservas probadas son aquellas reservas que tienen la capacidad de generar rentabilidad al ser extraídas, dados los precios de mercado para un periodo dado.

1997	0	126	57	1	58	72
1998	121	11	60	2	63	75
1999	40	30	62	2	64	73
2000	40	23	66	3	69	66
2001	34	55	88	3	91	62
2002	53	70	124	4	128	64
2003	84	53	112	4	116	57
2004	108	68	110	5	115	58
2005	196	108	154	8	162	82
2006	455	93	164	10	174	89
2007	666	105	175	14	189	94
Total	1797	680	1336	59	1395	1341

Fuente: MINEM (2000; 2008); CONASEV (varios años); PeruTop 10000 (varios años)

Elaboración propia

Grafico 1: Reservas y producción de petróleo durante 1980-2007



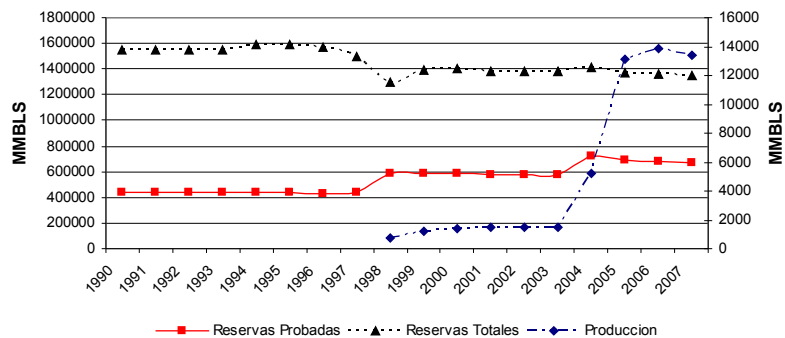
MMBLS = millones de barriles

Fuente: Ministerio de Energía y Minas (2000; 2008)

Elaboración propia

El gas natural ha sido obtenido principalmente como residual de la extracción de petróleo crudo lo cual cambió con la implementación del proyecto de LGN Camisea en el año 2003. Esto ha conllevado un aumento en la oferta antes que un incremento en los niveles de reservas no solo de gas natural sino de LGN. En realidad, las reservas probadas de LGN han subido gradualmente desde los 80s y recientemente con la puesta en operación de los Lotes 88 y 56; no obstante, su extracción ha sido relativamente constante en los últimos años (Grafico 2).

Grafico 2: Reservas y producción de LGN durante 1990-2007

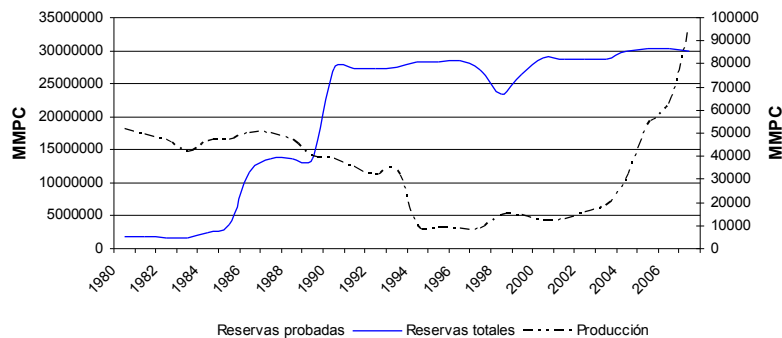


MMBLS = millones de barriles

Fuente: Ministerio de Energía y Minas (2000; 2008)

Los niveles de extracción del gas natural han aumentado sostenidamente conforme al crecimiento de economía, lo cual ha ido acompañado por un aumento tanto en las reservas totales como en las reservas probadas de gas natural (Grafico 3). Esto es importante porque bajo ciertas condiciones garantizaría una oferta creciente del dicho recurso para la producción local. El aumento del stock de este recurso da luz a una posible oferta sostenible de gas natural, al menos para el futuro cercano.

Grafico 3: Reservas y producción de gas natural durante 1980-2007



MMPC = millones de pies cúbicos

Fuente: Ministerio de Energía y Minas (2000; 2008)

Elaboración propia

3. Marco Teórico

3.1 Desarrollo sostenible, utilidad, riqueza, bienestar social y ahorro genuino

En tiempos recientes se ha puesto gran preocupación por el desarrollo sostenible de las economías de los países. El desarrollo sostenible conforme a la definición de la Comisión Brundtland (World Commission, 1987) consiste en aquel desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer sus propias necesidades. Sin embargo, dicha Comisión no propuso una metodología o indicador para evaluar dicho desarrollo. Esto ha motivado que la literatura económica proponga diversas alternativas.

Una de ellas fue establecida por Dasgupta y Mäler (2001) quienes proponen el indicador *inversión genuina* como el apropiado para evaluar el desarrollo en mención. el cual ya sido utilizado en la literatura (Ollivier y Giraud 2009; Arrow et al 2007) y además ha sido la base para el cálculo de un indicador similar denominado *ahorro genuino*, utilizado por el World Bank (2006) para analizar el desarrollo sostenible de todos sus países afiliados.⁴

Para el entendimiento del indicador de Dasgupta-Mäler es necesario comentar brevemente los conceptos de riqueza, bienestar social, utilidad y sostenibilidad los cuales son términos muy entrelazados con la idea de desarrollo sostenible.

⁴ Ambos indicadores son prácticamente iguales. Las diferencias básicamente radican en la forma de cálculo de los componentes del indicador.

Dasgupta (2001) y Dasgupta y Mäler (2001) sostienen que una senda de desarrollo es sostenible si el bienestar social es no decreciente en toda la senda. El bienestar social (V) se define como el valor presente de la utilidad (agregada o social) a lo largo de la senda. De esta forma, V equivale a un bienestar *intergeneracional*. Koopmans (1960; 1965) demostró que bajo condiciones generales V debería ser entendido como (1):

$$V_t = \sum_{s=t}^{\infty} \frac{U_s}{(1+\delta)^{s-t}} \quad (s \geq t) \quad (1)$$

donde δ es la tasa de descuento de la utilidad.⁵ Como U no es observable, Samuelson (1961) propuso que la riqueza actual (W) debería ser igual al valor presente del consumo futuro (2). Esto parece intuitivo: lo que se consumirá en el futuro dependerá del nivel de riqueza actual.

$$W_t \approx V_t = \sum_{s=t}^{\infty} \frac{U(C_s)}{(1+\delta)^{s-t}} \quad (s \geq t) \quad (2)$$

siendo C_s el consumo del periodo s y $U(C)$ la utilidad de ese consumo, la cual contiene todo lo que afecta al bienestar en un periodo dado.⁶ Con esta predicción es factible pronosticar el bienestar social:

$$V_t = \sum_t^{\infty} \frac{U(\alpha(s,t,K_t))}{(1+\delta)^{s-t}} \quad (4)$$

Obviamente, V es una función del stock de capital inicial y de su mecanismo de asignación. El patrón de consumo (y el bienestar intertemporal) dependen de la evolución de la base productiva de la economía, de manera que en algún momento la producción generada por esta base es asignada entre consumo e inversión en diferentes formas de capital.

Tal asignación esta determinada por dos tipos de mecanismos: autónomo y no-autónomo. Una pequeña economía abierta generalmente tiene un mecanismo de

⁵ Para la convergencia de V se requiere que $\delta > 0$. El lector puede revisar Hepburn (2007) y Dasgupta (2001) quienes ofrecen una excelente discusión al respecto.

⁶ Nótese que el concepto de *utilidad* difiere del *beneficio neto*, termino utilizado para referirse al ingreso total menos costo total.

asignación no-autónomo ya que sus decisiones dependen también de factores externos. Asumiendo un mecanismo de asignación no-autónomo, V será una función explícita del tiempo y para el caso de un solo tipo de capital, K :

$$V_t = V(K(t), t) \quad (5)$$

lo cual puede expresarse de la siguiente forma:

$$\frac{\partial V_t}{\partial t} = p_t \frac{\partial K_t}{\partial t} + \frac{\partial V_t}{\partial t} \quad (6)$$

El término del lado izquierdo de (7) equivale a la *inversión genuina* (I) la cual se define como la variación del bienestar intertemporal, variación de la riqueza o cambio en la base productiva. Si esta variación es no decreciente en el tiempo entonces la generación futura tendría al menos las mismas oportunidades para generar bienestar tal como las tuvo la generación predecesora. Entonces, si $I_t > 0$ entonces la riqueza aumento en el periodo t . En otras palabras, el desarrollo ha sido sostenible en tal periodo. Caso contrario, el desarrollo no se encuentra en la senda sostenible.

El primer término del lado derecho representa la variación del capital K valorado por su respectivo precio sombra constante, p_t . Este precio se define como el valor presente de los futuros beneficios netos de un capital resultante de una perturbación en su stock inicial o como la contribución de una unidad adicional de capital al bienestar social. La derivación completa de la expresión (6) se muestra en el Anexo 1.

El segundo término es conocido como el "drift term" (Dasgupta y Mäler, 2001) el cual es independiente de la base productiva y representa el efecto de los cambios exógenos, tales como cambios tecnológicos e institucionales, productividad y bienes públicos globales.

Cuando la tasa de crecimiento de la población es relevante y exógeno entonces debería calcularse el valor del cambio del capital (K) per-capita, el cual es igual a (7):

$$I_t = p\Delta\left(\frac{K}{L}\right) = p\frac{K}{L}\left[\frac{\Delta K}{K} - \frac{\Delta L}{L}\right] \quad (7)$$

siendo L la población. El valor del cambio del capital per-capita depende del ratio capital/población y de las tasas de crecimiento del capital y de la población. Debe resaltarse que (8) no es equivalente a la “inversión genuina per capita”. Otra medida que puede utilizarse es el cambio en la riqueza per-capita es (8)

$$\Delta\left(\frac{K}{L}\right) = \frac{K}{L} \left[\frac{\Delta K}{K} - \frac{\Delta L}{L} \right] \quad (8)$$

Extendiendo (6) en tiempo discreto y para el caso de tres tipos de capital: manufacturado (K), natural (N) y humano (H) se obtiene (9):

$$I_t = \Delta W_t = \sum_i \left(p_{K_{it}} \frac{dK_{it}}{dt} \right) + \sum_j \left(p_{N_{jt}} \frac{dN_{jt}}{dt} \right) + \sum_m \left(p_{H_{mt}} \frac{dH_{mt}}{dt} \right) \quad (9)$$

En este caso, la inversión genuina será equivalente a la sumatoria de las variaciones de los diversos tipos de capital valorados por su precio sombra. Para un periodo t , K_{it} es la cantidad del i -ésimo capital manufacturado, N_{jt} la cantidad de la j -ésima forma de capital natural y H_{mt} el m -ésimo tipo de capital humano, siendo sus respectivos precios sombra p_{K_i} , p_{N_j} , y p_{H_m} .

Nótese que este criterio no asume que el Estado maximiza el bienestar social ni requiere optimizar los recursos o capital, ya que simplemente se basa en el pronóstico o mapeo del capital inicial hacia otro conjunto de programas económicos.

El primer paso para evaluar la inversión genuina del sector hidrocarburos es calcular el valor del cambio de los diferentes tipos de capital. El segundo paso consiste en medir el cambio en la riqueza per-capita y finalmente comparar estos resultados con las medidas de ingreso sectorial.

3.2 Medidas tradicionales y ajustadas de ingreso sectorial

Una forma de evaluar la importancia del sector hidrocarburos es mediante sus medidas tradicionales de ingreso como el *PIB* y el *PNN*. Una gran limitación de estas medidas es que consideran la extracción de recursos naturales solo como ingreso y no como consumo de capital. Si tales recursos son activos naturales entonces también deben

ser sujetos de depreciación, detalle que es omitido por el actual Sistema de Cuentas Nacionales.

Las medidas de ingreso que incorporan principalmente la depreciación natural y la degradación ambiental se denominan “medidas de ingreso verde”. En la literatura económica existen diversos modelos -principalmente utilizando control óptimo- para calcular tales medidas de ingreso -como Hartwick (1990) y Hamilton (1994; 1996)- así como diversas metodologías para estimar sus componentes (por ejemplo, para estimar la depreciación de un recurso natural no renovable se usan los métodos propuestos por El Serafy (1989), Adelman (1990), entre otros). Por este motivo, los resultados para una misma medida de ingreso verde pueden ser sustancialmente diferentes dependiendo de la aplicación de uno u otra forma de obtención.

Además, aun cuando una medida de ingreso verde sea adecuadamente estimada, no debe ser utilizada como un indicador de desarrollo sostenible puesto que tal medida solo ofrece una corrección o ajuste del ingreso y en un momento dado y no permite inferir mucho sobre el desarrollo futuro. Un valor alto de la medida calculada no garantiza necesariamente que en el futuro cercano la situación sea similar.

El modelo

El modelo a utilizar en este caso ha sido el propuesto por Hamilton (1994, 1996) donde se maximiza la función de bienestar de una economía cerrada. Las variantes de este modelo ya han sido utilizadas para estimar medidas de ingreso corregidas en el caso de sectores económicos de recursos naturales no renovables, especialmente minerales (Orihuela, 2004; Figueroa et al., 2002; 2010).

El modelo consiste en maximizar la función de bienestar intertemporal (10):

$$\text{Max} \int_0^{\infty} U(C)e^{-\rho t} dt \quad (10)$$

sujeto a cuatro restricciones:

$$\overset{g}{K} = F(K, E) - C - f(E, Z) - g(D, M) - \alpha K - a \quad (11)$$

$$\overset{g}{Z} = -E + D \quad (12)$$

$$\dot{M}^g = D \quad (13)$$

$$\dot{W}^g = e(E, a) - h(W) \quad (14)$$

C es el consumo agregado, K es el stock de capital hecho por el hombre y α es su tasa de depreciación. Z , E y D representan el stock, la tasa de extracción, y los nuevos descubrimientos del recurso no renovable, respectivamente. M es el stock de descubrimientos. El término $F(K, E)$ es la función de producción del bien agregado en la economía mientras que $f(E, Z)$ equivale al costo total de extraer el recurso no renovable, el cual depende del nivel de extracción del recurso y de su stock. Finalmente, $g(D, M)$ es la función que representa los costos de descubrimiento del recurso no renovable. Se asume que $g_D > 0$ y $g_M > 0$.

Ahora el modelo incorpora el flujo de servicios ambientales y comodidades, J , de manera que el bienestar de la economía depende tanto del consumo del bien agregado, C , como de J . Se asume que este flujo es afectado negativamente por el stock acumulado de contaminación, S , de tal forma que $J = \varphi(S)$ y $\partial J / \partial S < 0$. Ahora C no solo es consumido y reinvertido en capital hecho por el hombre sino que puede ser invertido a una tasa “ a ” para reducir la contaminación.

Se asume que las emisiones de contaminantes dependen de la tasa de extracción del recurso no renovable y del gasto en abatimiento de la contaminación de modo que $e = e(E, a)$. Se asume además que $\partial e / \partial F > 0$ y $\partial e / \partial a < 0$. Existe cierta cantidad de contaminación, h , que es absorbida por la propia naturaleza. Por ende (14) es la ecuación dinámica del stock de contaminación.

Para los tres tipos de capital natural de este estudio y utilizando la notación de la sección anterior para un periodo t , la expresión anterior se convierte en (15), cuya derivación completa se ofrece en el Anexo 2.

$$PNNC_t = PNN_t - (p_{2,t}Q_{P,t} + p_{3,t}Q_{L,t} + p_{4,t}Q_{G,t}) + g_D \cdot D - a_{e,t}e_t \quad (15)$$

donde $PNNC$ es la medida de ingreso ajustada o “verde”. Q_P , Q_L , Q_G , son los niveles de producción o extracción de petróleo crudo, LGN y gas natural, respectivamente, siendo sus correspondientes precios sombra, p_2 , p_3 y p_4 . La tercera expresión del lado derecho de (15) representa los descubrimientos valorados a su costo marginal

(g_D) mientras que última expresión (a_{eE}) el nivel de emisiones generadas por el sector hidrocarburos, valoradas a su costo marginal de abatimiento.

Para obtener $PNNC$ simplemente se requiere deducir de la medida convencional (PNN) las diversas producción valoradas por su precio sombra, sumarle el valor marginal de los descubrimientos y restarle el costo de abatimiento de las emisiones contaminantes. Nótese que en el último término del lado derecho de la expresión (15) se asume que la naturaleza no tiene capacidad de asimilación de las emisiones contaminantes ($h=0$).

4. Metodología y calculo

4.1 Riqueza e inversión genuina del sector hidrocarburos

Para el caso en estudio se considera tres tipos de capitales: manufacturado, K_1 ; natural (el cual se subdivide en tres tipos: petróleo (K_2), LGN (K_3), y gas natural (K_4)), y humano (K_5). Los precios sombra son respectivamente: p_1 , p_2 , p_3 y p_4 , de manera que la expresión (9) se traducirá en:

$$I_t = \Delta W_t = p_{1,t} \Delta K_{1,t} + p_{2,t} \Delta K_{2,t} + p_{3,t} \Delta K_{3,t} + p_{4,t} \Delta K_{4,t} + p_{5,t} \Delta K_{5,t} \quad (16)$$

donde para un periodo t , I será la inversión genuina del sector hidrocarburos peruano. A continuación se describe la forma de estimación de cada componente.

4.1.1 Capital manufacturado

El precio sombra implícito del capital manufacturado en el Sistema de Cuentas Nacionales es igual a uno por lo que el valor del cambio de este capital es simplemente el valor del capital artificial del sector hidrocarburos o activo fijo neto⁷. Esta información fue obtenida a partir de estados financieros de empresas que participaron en la

⁷ La lógica es sencilla: ¿cuántos millones de soles esta dispuesta a pagar la sociedad por un capital que vale un millón de soles?: obviamente, un millón de soles. Este es el precio sombra. En la medida que el mercado sea eficiente el precio sombra será cercano a uno. El sector hidrocarburos peruano es afectado negativamente por regalías y canon; sin embargo también ha sido beneficiado con preferencias tributarias y de inversión, lo cual reduce o incluso puede anular el efecto negativo.

extracción de hidrocarburos durante el periodo de estudio.⁸ Se recurrió a los anuarios o memorias de las empresas y otras fuentes como CONASEV, PeruTop Publications (varios años), entre otros. Naturalmente, solo fue posible disponer con información de una muestra representativa de empresas (Anexo 3).

4.1.2 Capital natural

Petróleo

El precio sombra del capital petrolero en t , $p_{2,t}$ es la diferencia entre el precio de mercado (P_t) y su costo marginal de producción (C_t), en otras palabras, una renta unitaria marginal (17).

$$p_{2,t} = P_t - C_t \quad (17)$$

Utilizando la información disponible fue posible calcular la renta unitaria promedio o beneficio unitario promedio que se define como la contribución de la producción de petróleo al beneficio neto sectorial (B) por unidad de producción (Q_P). Esta participación del sector petrolero se estimó como el ratio del valor bruto de la producción del petróleo ($VBPP$) y el valor bruto de la producción sectorial (VBP): 0.78, 0.67, 0.66 y 0.66 para los años 2004, 2005, 2006 y 2007, respectivamente. Esta información se obtuvo de INEI (2008). Para el periodo 1992-2003 el ratio se asumió como 0.86, el cual fue calculado en base a la información sectorial desagregada de INEI (2003).

Asumiendo que las empresas locales que extraen petróleo se encuentran en la etapa óptima de la producción, los costos marginales de extracción son crecientes y exceden al costo promedio de extracción, de manera que la renta unitaria promedio será mayor que renta unitaria marginal.

En base a un estudio econométrico en los Estados Unidos de Norteamérica, Davis y Moore (2000) calcularon un factor de 0.6 para convertir la renta unitaria promedio de la extracción de petróleo y gas natural en su renta unitaria marginal. Si bien fue un estudio para un país desarrollado, la mayor parte de la producción petrolera peruana durante 1992-2007 recayó en empresas extranjeras cuyo nivel de tecnología pudo ser similar al norteamericano. En ausencia de mayor información se adoptó el parámetro señalado. De esta forma la renta unitaria marginal para la extracción de petróleo será:

⁸ Por este motivo se excluyeron las empresas dedicadas a las actividades exploración.

$$p_{2,t} = 0.6 [(VBPP_t / VBP_t)(B_t / Q_{Pt})] \quad (18)$$

La información de la producción fiscalizada de crudo (Q_P) se obtuvo del Ministerio de Energía y Minas (2000; 2008) mientras que los beneficios netos sectoriales se calcularon en base a los estados de ganancias y pérdidas del sector petrolero disponibles en CONASEV.

LGN

Casi la totalidad de LGN corresponde a la producción de la empresa Pluspetrol Camisea. Sabiendo que su costo unitario de extracción es constante, el costo marginal respectivo también lo es, de manera que la renta unitaria marginal equivale a la renta unitaria promedio.

La renta unitaria marginal del LGN fue calculada usando la expresión (19), siendo $VBPL$ el valor bruto de la producción de LGN. Para este caso, el ratio fue 0.14, 0.28, 0.27 y 0.27 para los años 2004, 2005, 2006 y 2007, respectivamente (INEI, 2008). Para el periodo restante se adoptó el ratio 0.12 (INEI, 2003). La información de la producción fiscalizada de LGN (Q_L) para el periodo 1998-2007 se obtuvo del Ministerio de Energía y Minas (2000; 2008). No fue posible conseguir registros de producción de LGN para el periodo 1992-1997.

$$p_{3,t} = [(VBPL_t / VBP_t)(B_t / Q_{Lt})] \quad (19)$$

Gas natural

Igual al caso del LGN, se asume que el costo unitario de extracción es constante de manera que la renta promedio unitaria es igual a la renta marginal unitaria. Similar al caso anterior se utilizó la expresión (19) donde $VBPG$ es el valor bruto de la producción de gas natural. En este caso los ratios fueron 0.08, 0.05, 0.07, 0.07 para los años 2004, 2005, 2006 y 2007, respectivamente (INEI, 2008). Para el periodo restante se considero un ratio de 0.02 en base a la información de INEI (2003). Los registros de producción de gas natural (Q_G) se obtuvieron del Ministerio de Energía y Minas (2000; 2008).

$$p_{4,t} = [(VBPG_t / VBP_t)(B_t / Q_{Gt})] \quad (20)$$

4.1.3 Capital humano

El valor del capital humano es igual al costo social total de brindar tal cambio menos la depreciación de este capital. Para estimar este valor lo usual es utilizar los montos de inversión en educación. En el caso del sector hidrocarburos, ello equivale a los gastos en exploración como una forma de contribución al conocimiento geológico del sector.

El capital humano, como otra forma de capital, también se deprecia. No es sencillo calcular la depreciación de este capital. No incluirla implicaría una sobrestimación de los resultados; sin embargo, esto no afectará significativamente las conclusiones, dada la escasa contribución de este tipo de capital a la riqueza peruana en hidrocarburos (Cuadro 1).

La información de gasto anual en exploración fue obtenida de Ministerio de Energía y Minas (2000; 2009). No se ha considerado al canon petrolero ni a las regalías como parte de la formación de capital humano del sector hidrocarburos ya que tales retribuciones no son destinadas necesariamente hacia el sector en mención y además solo una pequeña fracción (5%) es destinada a investigaciones en universidades públicas localizadas en zonas donde el hidrocarburo fue extraído. Obviamente esto equivale a una cifra muy reducida que no altera significativamente los resultados.

Finalmente, todos los valores monetarios corrientes fueron convertidos en a soles constantes del año 1994 utilizando el deflactor implícito del *PIB* (sectorial) para luego ser expresados en US\$ 1994 usando el tipo de cambio del final de ese año.

4.2 Ingreso ajustado del sector hidrocarburos

A continuación se comenta la forma de cálculo de todos los componentes de la expresión (15).

4.2.1 PNN

Por definición, el *PNN* es equivalente al producto nacional bruto sectorial (*PNB*) menos el consumo de capital fijo sectorial (*CKF*). A su vez, el *PNB* es igual al *PIB* más el saldo de factores de la producción. El problema es que no se dispone de la información de este saldo para el caso del sector hidrocarburos, el cual podría ser relevante ya que gran parte de las empresas del sector hidrocarburos son en realidad sucursales locales de sus empresas matrices en el extranjero. En todo caso, se esperaría un desplazamiento paralelo proporcional entre *PNB* y *PNN*, y por lo tanto las conclusiones no cambian sustancialmente. El *PIB* ya fue calculado mientras que *CKF* se obtuvo de INEI (2003; 2008).

4.2.2 Precios sombra de los stocks de capital natural

La metodología de cálculo de los precios sombra o rentas unitarias marginales de los diversos tipos de capital fue presentada en la sección 4.1.2.

4.2.3 Valor marginal de los descubrimientos

No fue posible conseguir ni estimar los nuevos descubrimientos de los tres tipos de capitales ni sus respectivos costos marginales de descubrimiento. Siguiendo a Figueroa et al (2002; 2010) se utilizó los gastos en exploración del sector hidrocarburos como una proxy del tercer término del lado derecho de (15). Esta información se obtuvo del Ministerio de Energía y Minas (2000; 2009).

4.2.4 Valor del servicio ambiental

Para calcular el cuarto término del lado derecho de (15) fue necesario identificar las principales actividades del sector hidrocarburos que generan degradación ambiental: quema de petróleo, establecimiento de pozos de extracción de petróleo y actividades exploratorias de sísmica. La primera actividad emite carbono a la atmósfera de manera directa mientras que las dos últimas emiten el carbono que fue fijado. Tales actividades se realizan mayormente en lugares alejados de centros poblados por lo que el principal impacto ambiental recae en la emisión de carbono y su captura evitada.

Dadas las consideraciones dispuestas en la normatividad ambiental sectorial, es poco probable que estas actividades interfieran negativamente en la economía local o afecten sustancialmente el entorno ambiental. Por ello, no se ha considerado el valor de uso directo ni indirecto del bosque tropical (con excepción de la captura de carbono). El costo de las tres actividades en mención se comentara adelante.

Cabe mencionar que durante el periodo en análisis han ocurrido diversos problemas ambientales a consecuencia de las actividades de extracción y transporte de hidrocarburos, tales como explosiones en el ducto de Camisea, contaminación de cursos de agua, y otras afectaciones a las poblaciones cercanas a los pozos de petróleo, las cuales por motivos de disponibilidad de información no han sido consideradas en el presente estudio.

Quema de petróleo

Los pozos quemar petróleo y ello genera emisiones de carbono a la atmósfera, lo cual redundaría en el proceso del efecto invernadero. Se sabe que un barril de petróleo genera 0.12 tC que normalmente es vertida a la atmósfera mientras que el costo económico para la sociedad de esa emisión es aún controversial ya que no hay consenso en la literatura sobre su valor. Pearce (2003) propone estimaciones de daño marginal de las emisiones de carbón que fluctúan entre 5 y 44 US\$/tC (a precios de 1995). World Bank (2003) calculó este valor en US\$ 20/tC (a precio de 1995) siendo utilizado por Atkinson y Gundimeda (2006). Otros como Ollivier y Giraud (2009) y Arrow et al (2007) obtienen dicho valor en base a la contribución del país en las emisiones mundiales de carbono y multiplicándolo por la estimación del costo de los daños globales ocasionadas por esas emisiones. De manera conservadora este estudio utiliza el valor de 15 US\$/tC.

Establecimiento de pozos de extracción de petróleo

Conforme a la normatividad sectorial, cada pozo de petróleo puede requerir hasta 2 hectáreas para su instalación. Asumiendo esa cifra y considerando el número total de pozos de petróleo (Ministerio de Energía y Minas, varios años) se obtuvo la superficie -en hectáreas y por región- que habría dejado de capturar el carbono. Este resultado fue multiplicado la cantidad que es eventualmente capturada por una hectárea por cada zona (zócalo, costa, y selva).

Existen diversos estudios sobre la cantidad de carbono almacenado y secuestrado en diferentes tipos de bosques. Brown y Pearce (1994) proponen valores que fluctúan entre 283 y 194 tC/ha en el caso de un bosque primario tropical y de un bosque secundario tropical, respectivamente. Mourato y Smith (2004) revisaron diversos estudios sobre acumulación de carbón en el Perú. Ellos encontraron evidencia que los bosques tropicales -en promedio- almacenan 180 tC/ha bajo ciertas condiciones. En ausencia de mayor información se optó por seguir a Mourato y Smith y utilizar su valor promedio para el caso de la zona selva.

La región “zócalo” equivale a las instalaciones de hidrocarburos en el mar. Poco se sabe sobre la cantidad de carbono que el océano captura. Según IPCC (2005), actualmente los océanos capturan 2 Gt de carbono al año. Esa cantidad debería ser menor en condiciones normales. Aun cuando la capacidad de esa captura depende de cada zona marina, esa cifra puede ser utilizada como una proxy del nivel de captura promedio. Dividiendo esa cantidad por la superficie del océano (335.2 millones de km²) y haciendo las conversiones necesarias se obtiene que anualmente la captura en mención es igual a 0.06 tC/ha. Luego de obtener las tasas de captura de carbono por zona (selva y zócalo) se desprende la cantidad de carbono que pudo ser capturado cuyo valor se asumió en 15 US\$/tC (Anexo 4).

Sísmica

En esta sección solo se considero la sísmica 2D. Es razonable pensar que en un bosque tropical el desbroce sea rápidamente cubierto por vegetación similar a la original. Sin embargo esta actividad requiere vías adicionales y pequeños campamentos que implican un desbroce adicional, lo cual por motivos de disponibilidad de información no fue posible calcular aunque su inclusión no altera significativamente los resultados.

La superficie eventualmente desbrozada que pudo capturar carbono fue calculada multiplicando la longitud de la sísmica 2D de la región selva (Ministerio de Energía y Minas, varios números) por el ancho máximo de dicha longitud, establecido por la normativa sectorial como 1.5 m. El resultado fue multiplicado por la tasa de captura de carbono para dicha región (180 tC/ha) y finalmente multiplicado por 15 US\$/ha (Anexo 5). Adicionalmente debería incluirse los pozos exploratorios perforados; no obstante, su reducida cantidad no contribuiría significativamente en el resultado final.

El valor total del servicio ambiental será la suma de la última columna de los Anexos 4 y 5.

5. Resultados

5.1 Riqueza e Inversión genuina

El Cuadro 3 muestra los resultados de las rentas unitarias marginales (precios sombra) para el periodo en estudio.

Aparentemente las rentas obtenidas son bajas, sobretodo para los últimos años donde los precios del petróleo alcanzaron niveles nunca antes registrados. Sin embargo debe recordarse que los resultados obtenidos corresponden al año 1994, cuando el precio del petróleo crudo era apenas 16 US\$/barril (Ministerio de Energía y Minas, 2000) y el costo unitario de producción era 14 US\$/barril (Vázquez, 2005) lo cual implica una renta unitaria promedio aproximada de 2 US\$/barril, lo cual es consistente con los resultados.

Cuadro 3: Renta unitaria marginal por tipo de capital natural (US\$ 1994)

Año	Renta unitaria marginal		
	Petróleo (US\$/barril)	Gas Natural (US\$/pc)	LGN (US\$/pc)
1992	0.91	0.00005	0.0018
1993	0.91	0.00005	0.0018
1994	1.46	0.00026	0.0018
1995	0.58	0.00011	0.0018
1996	1.28	0.00025	0.0018
1997	1.51	0.00030	0.0018
1998	0.14	0.00002	0.0018
1999	0.40	0.00004	0.0029
2000	0.37	0.00004	0.0019
2001	0.79	0.00008	0.0045
2002	1.02	0.00009	0.0056

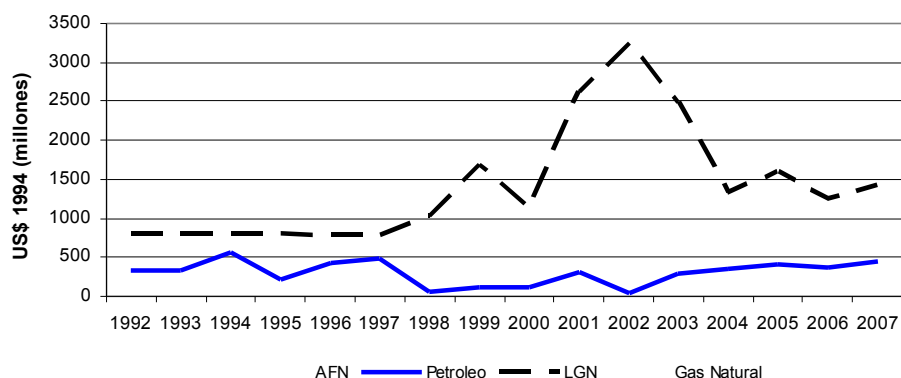
2003	0.82	0.00006	0.0043
2004	0.93	0.00018	0.0018
2005	1.06	0.00010	0.0023
2006	0.87	0.00010	0.0018
2007	1.00	0.00008	0.0021

pc: pie cúbico

Elaboración propia

Una vez obtenidas las rentas marginales se calculó la riqueza sectorial por tipo de capital (Grafico 4). La mayor parte de esta riqueza se ha concentrado en LGN y gas natural. Los AFN también son una parte importante de la riqueza sectorial mientras que la contribución del petróleo ha sido mínima al igual que el capital humano (el cual no se aprecia en este grafico). Evidentemente, a partir del año 2000 la riqueza del LGN y gas natural aumentaron como consecuencia de la puesta en marcha del proyecto Camisea, lo cual se refleja en el nivel de riqueza extremo registrado en el periodo 2002-2003 debido a la incorporación de cuantiosas reservas probadas de LGN y gas natural. Así, la magnitud de la riqueza sectorial dependió fundamentalmente del nivel de reservas probadas y en menor medida de sus precios sombra.

Grafico 4: Riqueza sectorial por tipo de capital



Elaboración propia

A inicios del periodo 1992-1999, el Perú salía de una crítica situación económica-social crítica, motivo por el cual el nivel de inversiones (y nuevos descubrimientos) fue reducido. A mediados de esa década tuvo lugar el “boom de exploraciones”, el cual fue generando nuevos hallazgos durante ese periodo, mayormente de gas

natural. La inversión genuina de esta etapa (US\$ 1166 millones) se debió principalmente al bajo nivel de reservas (y riqueza) del año 1992, establecido como punto de comparación (Cuadro 4)).

Cuadro 4: Riqueza por periodo y tipo de capital (US\$ 1994 millones)

Riqueza (W) por tipo de capital	Periodo						
	Periodo 1992-1999			Periodo 2000-2007			1992- 2007
	1992	1999	ΔW	2001	2007	ΔW	ΔW
Capital Manufacturado	522	926	404	366	814	448	292
Capital Natural	1476	2185	709	1577	2779	1202	1303
Petróleo	331	125	-205	121	446	325	115
LGN	793	1,700	906	1,129	1,418	289	624
Gas natural	352	360	8	326	915	589	563
Capital Humano	56	109	54	7	75	68	19
TOTAL	2054	3220	1166	1950	3668	1718	1613
Cambio en la riqueza per-capita (%)			41			59	49

Elaboración propia

La inversión genuina del periodo 1992-2007 ha sido US\$ 1600 millones. Este aumento en la riqueza sectorial sugiere que el sector hidrocarburos ha mantenido su capacidad para generar más riqueza. En otras palabras, el sector ha estado en la senda del desarrollo sostenible, al menos bajo el criterio utilizado. Sin embargo, esto no necesariamente que el sector tenga intactas las posibilidades de desarrollo futuro. Tampoco implica que los aportes obligatorios del sector hayan sido adecuadamente invertidos hayan generado el incremento del valor del capital sectorial. Ese aumento no ha sido gradual sino más bien oscilante y ha dependido fundamentalmente de los nuevos descubrimientos.

En realidad no tiene mucho sentido lograr la sostenibilidad del capital natural del sector hidrocarburos ya que tarde o temprano las reservas se agotarán. Lo que interesa es que el beneficio brindado por este sector sea no decreciente en el tiempo. Esto implica que deben reinvertirse los aportes obligatorios sectoriales en otros tipos de capital de manera que el valor del stock de capital total sectorial no decrezca en el tiempo.

Para que esto ocurra, se requiere que los aportes obligatorios del sector hidrocarburos cumplan dos requisitos básicos: ser óptimos y ser reinvertidas *apropiadamente*. Por óptimo se entiende cuando el aporte en mención maximiza el

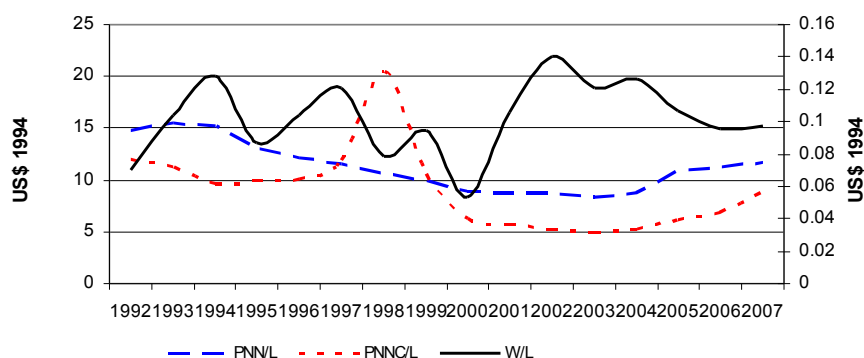
valor presente de los futuros aportes sectoriales. En otras palabras, es la máxima cantidad que el agente privado puede pagar por extraer el hidrocarburo. Una vez cumplida esta condición se requiere que los aportes (óptimos) sean invertidos *adecuadamente* en otras formas de capital, de manera que estas puedan seguir generando riqueza. No hay evidencia que los aportes obligatorios del sector cumplan los requisitos mencionados. Más aún, es posible que estos aportes estén siendo reinvertidos en otros sectores de manera que se este creando riqueza pero fuera del sector hidrocarburos. Por esto, los resultados de este estudio deben ser tomados con cautela.

Lo único claro es que la riqueza del sector analizado ha crecido gracias a la rica geología y no necesariamente a inversión planificada en otras formas de capital. Este es peligroso para un país para un país altamente dependiente de la venta de sus recursos no renovables, ya que la generación de futuros ingresos sectoriales depende casi exclusivamente del carácter aleatorio de los hallazgos.

4.2 Ingreso verde

El Grafico 5 muestra la evolución de tres medidas en términos per-capita: ingreso convencional, ingreso ajustado y riqueza (*PNN/L*, *PNNC/L*, y *W/L*, respectivamente). Como era de esperar, el *PNN/L* fue mayor al *PNNC/L* debido a que éste deduce el valor de la depreciación de los recursos naturales, la cual normalmente excede al valor de los nuevos descubrimientos.

Grafico 5: Medidas de ingreso corregido per-capita y riqueza sectorial per-capita (US\$ 1994 millones)



Nótese que no existe una clara relación entre las dos medidas de ingreso y la riqueza. Las tres medidas cayeron hasta fines del año 2000. En el periodo 2000-2003 el *PNN/L* se reduce como consecuencia del decaimiento local de la actividad extractiva de petróleo mientras que en el periodo 2004-2007 esta medida aumentó gracias a una favorable coyuntura mundial de precios del petróleo lo cual sumado a una mayor extracción del stock total y un bajo nivel de descubrimientos- generó una merma en el valor del stock o riqueza. Obviamente, esta aparente mejora del ingreso no implica necesariamente un escenario favorable en el largo plazo. Por esta razón, las medidas de ingreso no son buenos indicadores del desarrollo sostenible ya que no aseguran nada sobre el bienestar futuro. Lo único claro es que el verdadero ingreso del sector hidrocarburos esta sobrestimado.

Sin embargo esto debe ser tomado con cautela ya que estos resultados dependen del modelo utilizado. La extrema sensibilidad a la incorporación de descubrimientos es otro detalle. Al respecto, es difícil justificar la incorporación de los descubrimientos ya que no han formado parte de la producción del año en curso y por ende no deberían ser considerados en el ingreso de ese periodo. Presumiblemente, este sea el argumento para no incluir los descubrimientos en este tipo de medidas “verdes” o ajustadas. Hacerlo, distorsionaría las proyecciones lo cual no es deseable.

6. Conclusiones y recomendaciones

Los resultados indican que el sector hidrocarburos ha estado en la senda óptima, es decir, la riqueza del sector ha sido creciente. Pero esto ha sido consecuencia no de un proceso adecuado de reinversión de los aportes obligatorios del sector hidrocarburos (canon y regalías) sino del carácter oscilante y aleatorio de los nuevos descubrimientos, principalmente de líquidos de gas natural y gas natural. Esto es peligroso para la sociedad ya que no hay garantía que el aparente desarrollo actual se mantenga aún en el futuro cercano.

La inminente exportación de LGN no necesariamente acentuaría la oscilación de la riqueza sectorial. Mientras exista una necesidad insatisfecha en el mercado, habrá interés para explorar, descubrir reservas y aumentar la riqueza. Afortunadamente el Perú es todavía un país muy rico. Pero esto no significa confiar exclusivamente en la

geología para generar bienestar. Es fundamental diversificar las inversiones de las rentas a fin de reducir la dependencia de los nuevos hallazgos para generar riqueza.

Para tal efecto se proponen algunas medidas. En primer lugar, el Estado debe estudiar si los aportes obligatorios realmente son óptimos. Una posibilidad para asegurar una alta regalía (y mayores ingresos al Estado) es la creación de una empresa nacional de hidrocarburos.

En segundo lugar, invertir *apropiadamente* los aportes en otras formas de capital, lo cual no necesariamente ocurre. Es necesario disponer de estudios o propuestas como por ejemplo, invertir en la generación de nuevas fuentes de energía, actividades que generen un alto valor agregado y en capital humano. Además, se requiere reducir las trabas burocráticas y fortalecer las capacidades para generar proyectos de inversión locales. No tiene sentido lograr un mayor aporte si éste no puede ser reinvertido fácilmente.

Finalmente, si los recursos naturales son propiedad del Estado, entonces este tiene la obligación de establecer condiciones a fin de que los agentes que extraigan tales recursos ofrezcan a la sociedad la información que esta requiera. Es fundamental una mayor disposición de información de costos de las empresas del sector hidrocarburos. Si bien esta situación no es exclusividad del Perú, ello no significa que se deba renunciar a un cambio. Hacerlo, no solo afinaría los resultados sino que haría mas transparente la gestión del capital natural sectorial. De esto también dependerá la propuesta de construcción de una regalía óptima.

REFERENCIAS

Adelman, M.A (1990): Mineral depletion with special reference to petroleum, *Review of Economics and Statistics*, 72; 1-10.

Arrow, K., Dasgupta, P., Goulder, L., Mumford, K., Oleson, K. (2007). "China, the U.S., and Sustainability: Perspectives Based on comprehensive Wealth". Working Paper No. 313. Stanford Center for International Development. Stanford University.

Atkinson, G., Gundimeda, H. (2006). "Accounting for India's Forest Wealth". Working Paper 5/2006. Madras School of Economics.

Banco Central de Reserva del Perú (2009). Memoria Anual 2008. Disponible en: www.bcrp.gob.pe. Fecha: mayo 2009

Brown, K, Pearce, D. (1994). *The Causes of Tropical Deforestation*. London: University College London Press.

Campodonico, H. (1999). La inversión en el sector petrolero peruano en el periodo 1993-2000. Serie Reformas Económicas 23. CEPAL.

CONASEV. Varios Años. Las 1000 primeras empresas del Perú. Lima.

CUANTO (1992). Anuarios Estadístico Perú en Números 1991. Cuanto S.A. Lima

Dasgupta, P. (2001). Human Well-being and the Natural Environment. Oxford University Press. 351p.

Dasgupta, P., Mäler, K-G. (2001): "Wealth as a Criterion for Sustainable Development". Beijer Discussion Paper Series N° 139. Beijer International Institute of Ecological Economics.

Davis, G., Moore, D. (2000): "Valuing mineral stocks and depletion in green national income accounts". *Environment and Development Economics*, 5, pp. 109-127.

El Serafy, S. (1989): The proper calculation of income from depletable natural resources, en *Environmental Accounting for Sustainable Development*, Editores: Y. Ahmad, S., El Serafy, And E.Lutz, Washington, DC: World Bank.

Figuroa, E., Calfucura, E., Nuñez, J. (2002). Green national accounting: the case of Chile's mining sector. *Environment and Development Economics*. 7, pp. 215-239.

Figuroa, E., Orihuela, C., Calfucura, E. (2010). Green accounting and sustainability of the Peruvian metal mining sector. *Resources Policy* (forthcoming).

Hamilton, K. (1994) "Green adjustments to GDP," *Resources Policy*, vol. 20(3), pp 155-168

Hamilton, K. (1996). "Pollution and Pollution Abatement in the National Accounts". *Review of Income and Wealth*, Series 42, Number 1.

Hamilton, K., Atkinson, G. (2006). *Wealth, Welfare and Sustainability. Advances in Measuring Sustainable Development*. Edward Elgar. Chetelham, UK. 201p.

Hartwick, J. (1990): "Natural Resources, National Accounting and Economic Depreciation". *Journal of Public Economics*. Vol 43. pp.291-304

Hepburn, C. (2007): "Valuing the far-off future: discounting and its alternatives". En Handbook of Sustainable Development. Editado por Giles Atkinson, Simon Dietz y Eric Neumayer. Edward Elgar. Chetelham, UK. 489p.

INEI (2003). Valor agregado de la minería metálica por componentes. Dirección de Cuentas Nacionales. Documento no publicado.

INEI (2008). Valor agregado bruto por tipo de ingreso según actividad económica 2001-2007 (precios corrientes). Dirección Nacional de Cuentas Nacionales. Documento no publicado.

IPCC (2005). La captación y el almacenamiento de dióxido de carbono. Resumen para responsables de políticas y Resumen técnico. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático. PNUMA.

Koopmans, T.C (1960): "Stationary ordinal utility and impatience". *Econometrica*, 28, pp. 287-309

Koopmans, T.C (1965): "On the concept of optimal economic growth". *Pontificae Academiae Scientiarum Scripta Varia*, 28: pp. 225-300

Manco, J. (2002). Privatización e Hidrocarburos: mito y realidad Perú 1991-2002. Serie Ciencias Sociales. Fondo Editorial Universidad Nacional Mayor de San Marcos. 404p.

Ministerio de Energía y Minas (2000). Anuario Estadístico de Hidrocarburos 1999. Disponible en: http://www.minem.gob.pe/hidrocarburos/pub_anuario_1999.asp. Fecha Mayo 2009.

Ministerio de Energía y Minas (2008). Estadístico de Hidrocarburos 2007. Disponible en: http://www.minem.gob.pe/hidrocarburos/pub_anuario_2007.asp. Fecha: mayo 2009.

Ministerio de Energía y Minas (2009). Estadístico de Hidrocarburos 2008.

Mourato, S., Smith, J. (2004). "Can carbon trading reduce deforestation by slash-and-burn farmers? Evidence from the Peruvian Amazon". En: Pearce, David and

Pearce, Corin and Palmer, C., (eds.) Valuing the environment in developing countries. Edward Elgar Publishing, Cheltenham, UK, pp. 358-376.

Ollivier, T., Giraud, P. (2009). "Is Mozambican Growth Sustainable? A Comprehensive Wealth Accounting Prospect". Mines Paris Tech, CERNA. Munich Personal RepEc Archive.

Orihuela, C., Ponce, R. (2004): "Valorando los recursos naturales y su incorporación en las cuentas nacionales". Revista Apuntes, Vol 52, pp. 89-108. Fondo Editorial Universidad del Pacifico.

Pearce, D., Atkinson, G. (1993): "Capital theory and the measurement of sustainable development: an indicator of "weak" sustainability". Ecological Economics, Vol. 8, pp. 103-108.

Pearce, D. (2003) "The Social Cost of Carbon and its Policy Implications", Oxford Review of Economic Policy.

PERU REPORTING (1997). Peru The Top 5000 Companies. Edición Bilingüe. Editorial Monterrico S.A. Lima.

PERU TOP PUBLICATIONS (varios años). Peru: The Top 10000 Companies. Peru: Top Publications SAC. Lima.

PETROPERU (2009). Balances y Estados Financieros (varios años). Disponible en: www.petroperu.com.pe. Fecha: Mayo 2009.

Pezzey, J. (1989) "Economic Analysis of Sustainable Growth and Sustainable Development." Environment Department Working Paper 15, World Bank, Washington, DC.

Repetto et al (1989). Wasting Assets: Natural Resources in the National Accounts. Washington: World Resources Institute

Samuelson, P. (1961) "The Evaluation of 'Social Income': Capital Formation and Wealth." En F. A. Lutz and D. C. Hague (eds.), The Theory of Capital. New York: St. Martin's Press.

Vásquez, A. (2005). La Organización Económica de la Industria de Hidrocarburos en el Perú: el Segmento Upstream del Sector Petrolero. Documento de Trabajo 8. Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería - OSINERG. Disponible en: http://www.osinerg.gob.pe/newweb/uploads/Estudios_Economicos/DT08-OEE-OSINERG1.pdf

World Bank (2003). World Development Indicators 2003, CD-ROM, World Bank, Washington, D.C.

World Bank (2006). Where is the Wealth of the Nations?. Measuring Capital for the 21st Century. Washington DC. USA. 188 p.

World Commission (1987). Our Common Future. Oxford University Press. New York.

Anexo 1: Inversión Genuina

El bienestar generacional V debería ser definido como (a1):

$$V_t = \sum_{s=t}^{\infty} \frac{U_s}{(1+\delta)^{s-t}} \quad (s \geq t) \quad (a1)$$

siendo δ la tasa de descuento de la utilidad. Equivalentemente a V , la riqueza (W) debería ser igual al valor presente del consumo futuro (a2):

$$W_t \approx V_t = \sum_{s=t}^{\infty} \frac{U(C_s)}{(1+\delta)^{s-t}} \quad (s \geq t) \quad (a2)$$

donde C_s el consumo del periodo s y $U(C)$ la utilidad de ese consumo. Dado el estado actual de la economía es posible predecir el consumo futuro que depende del stock de capital inicial (K_t) y de su mecanismo de asignación (α):

$$C_s = \alpha(s, t, K_t) \quad (a3)$$

Con esta predicción es factible pronosticar el bienestar social:

$$V_t = \sum_t^{\infty} \frac{U(\alpha(s, t, K_t))}{(1 + \delta)^{s-t}} \quad (a4)$$

Tal asignación esta determinada por mecanismos: autónomo y no-autónomo. Asumiendo un mecanismo de asignación no-autónomo, V será una función explicita del tiempo y para el caso de un solo tipo de capital, K :

$$V_t = V(K(t), t) \quad (a5)$$

Diferenciando (a5) con respecto al tiempo:

$$\frac{dV_t}{dt} = \frac{\partial V_t}{\partial K_t} \frac{dK_t}{dt} + \frac{\partial V_t}{\partial t} \frac{dt}{dt} \quad (a6)$$

Lo cual puede expresarse de la siguiente forma:

$$\frac{\partial V_t}{\partial t} = p_t \frac{\partial K_t}{\partial t} + \frac{\partial V_t}{\partial t} \quad (a7)$$

El primer término del lado derecho de (a7) es la variación del capital K valorado por su precio sombra el cual es equivalente a la derivada parcial de la función de bienestar intertemporal con respecto al capital (a8).

$$p_t = \frac{dV_t}{dK_t} = \sum_t^{\infty} \left(\frac{dU(\alpha(s, t, K_t))}{(1 + \delta)^{s-t}} \right) \quad (a8)$$

El segundo término es el “drift term” (Dasgupta y Mäler, 2001). En tiempo discreto, (a7) puede ser reescrito como (a9), donde I_t la inversión genuina en t y v_t es el “drif term”.

$$I_t = \Delta W_t = p_t \Delta K_t + v_t \quad (a9)$$

Nótese que para el caso de los tres capitales mencionados, la riqueza, W , es expresada por (a10):

$$W_t = \sum_i (p_{Kit} K_{it}) + \sum_j (p_{Njt} N_{jt}) + \sum_m (p_{Hmt} H_{mt}) \quad (a10)$$

Anexo 2: Ingreso verde

El modelo se resuelve aplicando el Hamiltoniano respectivo (a11):

$$H = U(C) + \lambda_1(K^g) + \lambda_2(Z^g) + \lambda_3(M^g) + \lambda_4(W^g) \quad (a11)$$

Luego de establecer las condiciones de primer orden, encontrar las soluciones para los precios sombra (λ_1 , λ_2 , y λ_3) y reemplazar los valores óptimos en el Hamiltoniano se obtiene (a12):

$$H = U + U_C K^g - U_C \left(F_E - f_E + \frac{e_E}{e_a} \right) (-E + D) + U_C g_D D + \frac{1}{e_a} (e(E, a) - h(W)) \quad (a12)$$

Si se asume que la utilidad es lineal en consumo ($U = U_C C$) y no decreciente en C como propone Hartwick (1990) y dividiendo la expresión resultante por U_C se obtiene una expresión monetaria equivalente a un producto nacional neto corregido ($PNNC$) en (a13):

$$PNNC = C + K^g - \left(F_E - f_E + \frac{e_E}{e_a} \right) E + g_D D - a_e (e(E, a) - h(W)) \quad (a13)$$

Los dos primeros términos del lado derecho equivalen al producto nacional neto convencional (PNN). El tercer término, $F_E - f_E$, es equivalente a una tasa de renta marginal del recurso no renovable corregida por el término e_E/e_a el cual equivale a

una tasa de costo de abatimiento para alcanzar el nivel de extracción eficiente. En otras palabras, equivale a un impuesto piguviano bajo este modelo optimizador. Sin embargo, puesto que en el sector hidrocarburos peruano no se ha pagado algún tipo de impuestos piguviano entonces este factor puede asumirse como cero.

El cuarto término del lado derecho es equivalente a los nuevos descubrimientos valorados a su costo marginal de descubrimiento. Finalmente, el quinto término corresponde a la degradación ambiental valorada a su costo marginal de abatimiento, a_e (sabiendo que $e_a < 0$, entonces $-(1/e_a) = a_e > 0$). De esta forma se obtiene una expresión más amigable (a14):

$$PNNC = PNN - (F_E - f_E) E + g_D D - \frac{1}{e_a} (e(E, a) - h(W)) \quad (a14)$$

Anexo 4: Costo de la quema de petróleo (US\$ 1994)

Año	Zócalo tC (1)	Costa tC (2)	Selva tC (3)	Total tC (4)	Total Millones (5)
1992	675,768	1,025,976	3,373,980	5,075,724	76
1993	846,960	1,075,332	3,608,736	5,531,028	83
1994	836,796	1,033,080	3,706,236	5,576,112	84
1995	851,220	992,964	3,488,988	5,333,172	80
1996	804,924	987,600	3,476,580	5,269,104	79
1997	758,712	1,057,380	3,362,760	5,178,852	78
1998	690,108	927,060	3,445,788	5,062,956	76
1999	617,664	904,512	3,117,420	4,639,596	70
2000	584,844	856,728	2,359,464	3,801,036	57
2001	573,276	824,940	2,854,644	4,252,860	64
2002	543,144	773,148	2,926,404	4,242,696	64
2003	508,596	778,788	2,713,716	4,001,100	60
2004	471,624	783,960	2,878,188	4,133,772	62
2005	470,592	848,520	3,555,576	4,874,688	73
2006	546,684	858,948	3,656,808	5,062,440	76
2007	520,572	917,604	3,543,768	4,981,944	75

(4)=(1)+(2)+(3); (5)= 15 US\$/tC x (4)

Elaboración propia

Anexo 5: Costo de la captura evitada de carbono por actividad (US\$ 1994)

Año	Establecimiento de pozos					Sísmica		Total US\$ Millones (5)+(8)
	Zócalo	Selva	Zócalo	Selva	Total US\$	Total	Total US\$	
	ha	ha	tC	tC	Millones	tC	Millones	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(7)	(8)		
1992	2,605	735	156	132,223	2.0	18,684	0.3	2.3
1993	2,616	756	157	136,073	2.0	18,522	0.3	2.3
1994	2,626	777	158	139,924	2.1	1,620	0.0	2.1
1995	2,637	799	158	143,775	2.2	30,748	0.5	2.6
1996	2,647	820	159	147,626	2.2	90,207	1.4	3.6
1997	2,658	842	159	151,477	2.3	54,834	0.8	3.1
1998	2,669	863	160	155,328	2.3	54,122	0.8	3.1
1999	2,680	878	161	158,040	2.4	39,955	0.6	3.0
2000	2,676	908	161	163,440	2.5	0	0.0	2.5
2001	2,708	932	162	167,760	2.5	15,768	0.2	2.8
2002	2,722	952	163	171,360	2.6	16,281	0.2	2.8
2003	2,724	962	163	173,160	2.6	0	0.0	2.6
2004	2,730	998	164	179,640	2.7	5,130	0.1	2.8
2005	2,738	1,010	164	181,800	2.7	0	0.0	2.7
2006	2,744	1,036	165	186,480	2.8	810	0.0	2.8
2007	2,762	1,056	166	190,080	2.9	48,006	0.7	3.6

(3)= (1) x 0.06 tC/ha; (4)=(2) x 180 tC/ha; (5) = ((3)+(4)) x 15 US\$/tC; (8)=(7) x 15 US\$/tC

Elaboración propia

Anexo 6: Riqueza por tipo de capital (US\$ millones 1994)

Año	AFN	Petróleo	LGN	Gas	Humano	TOTAL
	$p_{K1}K_1$	$p_{K2}K_2$	$p_{K3}K_3$	Natural $p_{K4}K_4$	$p_{K5}K_5$	(W)
1992	522	331	476	211	56	1596
1993	1349	327	476	203	32	2388
1994	812	572	476	1113	24	2997
1995	895	211	477	445	38	2066
1996	491	436	468	1033	92	2520
1997	604	488	470	1243	157	2962
1998	872	50	618	84	330	1953
1999	926	125	1,020	216	109	2396
2000	366	121	677	196	7	1368
2001	397	317	1,574	437	20	2744
2002	1213	38	1,953	469	19	3693
2003	1124	288	1,491	299	6	3208
2004	999	352	791	1240	16	3399
2005	798	408	961	719	29	2914
2006	754	364	742	739	28	2626
2007	814	446	851	549	75	2735

Elaboración propia

Anexo 7: Medidas de ingreso sectorial y sus componentes (US\$ millones 1994)

Año	Depreciación natural			Degradación		$g_D \cdot D$	Medidas de ingreso sectorial				$a_e(e-h)/$ PIB (%)
	p_2Q_P	p_3Q_L	p_4Q_G	Ambiental	$a_e(e-h)$		PNN	PNNC	PNN/L	PNNC/L	
1992	39	0	2	78	56	333	270	15	12	22	
1993	42	0	2	85	32	357	261	16	11	22	

1994	68	0	3	86	24	357	225	15	10	22
1995	26	0	1	83	38	309	238	13	10	24
1996	56	0	2	83	92	293	245	12	10	25
1997	65	0	3	81	157	283	291	12	12	25
1998	6	1	0	79	330	265	509	11	20	24
1999	16	4	1	73	109	250	267	10	11	24
2000	12	3	0	59	7	229	161	9	6	21
2001	28	7	1	67	20	229	147	9	6	24
2002	36	8	1	66	19	231	138	9	5	24
2003	27	6	1	63	6	221	130	8	5	23
2004	32	10	5	65	16	237	142	9	5	23
2005	43	30	5	76	29	293	167	11	6	22
2006	37	25	7	79	28	309	190	11	7	21
2007	41	28	7	78	75	329	249	12	9	20
TCP	-	-	-	-	-	-1%	-8%	-21%	-26%	-

TCP = tasa de crecimiento promedio del periodo 1992-2007

Fuente: Elaboración propia