



El Valor de la Vida Estadística y sus aplicaciones a la Fiscalización de la Industria de Hidrocarburos

Documento de Trabajo N° 18

Arturo Vásquez Cordano

Oficina de Estudios Económicos

Lima, Marzo del 2006

OSINERG

El Valor de la Vida Estadística y sus aplicaciones a la Fiscalización de la Industria de Hidrocarburos

Documento de Trabajo N° 18, Oficina de Estudios Económicos.

Está permitida la reproducción total o parcial de este documento por cualquier medio, siempre y cuando se cite la fuente.

Elaborado por Arturo Vásquez Cordano.

Colaboradores: Raúl Pérez-Reyes y Jorge Villar.

Asistentes: Nelly Urbina, Luis Damián y Francisco Coello.

Primera versión: Noviembre del 2005.

Última versión: Marzo del 2006.

Para comentarios o sugerencias dirigirse a:

OSINERG

Bernardo Monteagudo 222, Magdalena del Mar

Lima, Perú

Tel. (511) 219-3400, anexo 1057

Fax (511) 219-3413

<http://www.osinerg.gob.pe/osinerg/investigacion>

Correo electrónico: avasquez@osinerg.gob.pe, vasquez.al@pucp.edu.pe

Clasificación JEL: C40, J17, J28, K42.



**Organismo Supervisor de la Inversión en Energía
Oficina de Estudios Económicos
Documento de Trabajo N° 18**

**El Valor de la Vida Estadística y sus aplicaciones a la Fiscalización de
la Industria de Hidrocarburos¹**

Resumen

Durante los últimos años, los esquemas de supervisión y fiscalización de las empresas del sector hidrocarburos en el Perú han experimentado una serie de cambios cuyo objetivo es mejorar la capacidad del Organismo Supervisor de la Inversión en Energía (OSINERG) para ejecutar y hacer cumplir las normas que rigen en el sector. Los cambios implementados responden a una nueva filosofía de supervisión del sector energía que considera: a) el empleo de criterios científicos (que involucran a la Estadística y la Economía) para el diseño de instrumentos sancionadores flexibles, b) el énfasis en la fiscalización por resultados, c) la elaboración de

¹. Se agradece a Alfredo Dammert, Edwin Quintanilla y Julio Salvador, gestores del cambio en el esquema de supervisión y de sanciones que el OSINERG viene implementando para mejorar el cumplimiento de las normas legales en el sector eléctrico y la industria de hidrocarburos en el Perú, por el apoyo brindado en la elaboración de esta investigación. Se agradecen los comentarios de Raúl Pérez-Reyes a la versión preliminar de este documento. Asimismo, se agradece la asistencia de Nelly Urbina, Luis Damián y Francisco Coello en la elaboración del documento. La sección de atenuantes y agravantes del Anexo N° 1 ha sido elaborada por Héctor Talavera de la Coordinación del Proyecto Camisea de la Gerencia de Fiscalización en Hidrocarburos – OSINERG. Las opiniones vertidas en este documento son de responsabilidad exclusiva del autor y no reflejan necesariamente la posición del OSINERG. Los errores u omisiones son de responsabilidad del autor. Remitir comentarios y sugerencias a avasquez@osinerg.gob.pe o vasquez.al@pucp.edu.pe.



una estrategia innovadora de aplicación simultánea del esfuerzo de fiscalización y la ejecución del sistema sancionador para fortalecer las facultades sancionadoras del Organismo Supervisor, y d) la consistencia metodológica en la aplicación de las multas y sanciones no monetarias en diferentes ámbitos de acción de la supervisión del sector.

En este contexto, el OSINERG ha enfrentado el desafío de aplicar sanciones a empresas cuyas infracciones a las normas que regulan el sector hidrocarburos pueden generar un importante perjuicio a la sociedad. Estos perjuicios sociales se manifiestan en la figura de impactos que causan daños al medio ambiente, afectaciones severas o fatales sobre la salud y la vida de las personas involucradas directamente en los incidentes, así como impactos a terceras partes afectadas indirectamente por los incidentes. Para afrontar este desafío, el OSINERG ha realizado modificaciones a sus esquemas de sanciones con el propósito de incorporar criterios objetivos en los procedimientos de cálculo de sanciones, así como hacer más transparente para los administrados el proceso administrativo sancionador.

En esta línea de trabajo, el presente documento tiene como propósito presentar los alcances de los cambios efectuados para mejorar la capacidad sancionadora del OSINERG en el ámbito de la supervisión de las normas de seguridad del sector hidrocarburos, cuyas infracciones generan accidentes que causan daños a la integridad de las personas. Para ello, se discute primeramente sobre la concepción económica de daño al bienestar de los agentes económicos, las distintas medidas de valor, y el efecto que tienen los accidentes sobre el valor de la “vida estadística”, entendida ésta como la



disposición a pagar que muestra una persona promedio (*persona estadística*) para adoptar medidas que reduzcan los riesgos de afectación grave o fatal a su vida. En segundo lugar, se analizará el marco conceptual que sustenta el nuevo enfoque de supervisión y de aplicación de sanciones para los casos de infracciones que generan daños sociales de considerable magnitud, así como se propondrá una metodología de cálculo de sanciones óptimas. Finalmente, se presentarán los resultados de la estimación de la vida estadística para el caso peruano, y a partir de estos resultados se presentará una aplicación de la metodología de cálculo propuesta a la supervisión del sector hidrocarburos en el Perú.

De la revisión de la experiencia internacional, puede sostenerse que el nuevo enfoque para la aplicación de sanciones ante la ocurrencia de infracciones que generan daños a la vida de las personas que es presentado en este documento es inédito respecto a otros organismos reguladores de la región. No obstante, debe decirse que la escasez de referentes internacionales, así como las recientes modificaciones al esquema de supervisión y fiscalización sugieren que esta investigación debe considerarse como el inicio de la discusión sobre los temas de aplicación de sanciones en el sector hidrocarburos más que como un debate agotado.

TABLA DE CONTENIDO

1. Introducción	7
2. Accidentes, Daños Personales y el Valor de la Vida Estadística	11
2.1. Evaluación económica de los daños personales generados por accidentes	13
2.2. La Vida Estadística: Fuentes de Valor	18
3. Marco Conceptual para la aplicación de multas administrativas por accidentes.....	21
3.1. El Modelo.....	23
3.2. Multa <i>Ex - Post</i>	28
3.3. Multa <i>Ex - Ante</i>	36
4. Metodología para el Cálculo de las Multas <i>Ex - Post</i>.....	38
4.1. Cálculo del Factor <i>B</i>	38
4.2. Metodologías existentes para la estimación del Valor de la Vida Estadística	45
4.2.1. Enfoque del Capital Humano	47
4.2.2. Enfoque de los Salarios Hedónicos	51
4.2.3. Valoración Contingente.....	53
4.2.4. Método de Transferencia de Valores.....	54
4.2.5. Consideraciones para la realización de la Transferencia de Beneficios.....	59
5. Estimación del Valor de la Vida Estadística para el caso peruano... 65	65
5.1. Metodología del Meta-Análisis	69
5.2. El Modelo Econométrico y el problema del Sesgo de Selección	70
5.3. Base de Datos.....	74
5.4. Estimación y Resultados	76
5.5. Aplicación a la Fiscalización del Sector Hidrocarburos en el Perú. 81	
6. Aplicación de la metodología de cálculo de sanciones a la Fiscalización del Sector Hidrocarburos del Perú	83
7. Conclusiones.....	89
8. Referencias Bibliográficas.....	97
Anexo N° 1: Atenuantes y Agravantes formulados por la GFH.....	100
Anexo N° 2: El Modelo BEN de la <i>U.S. Environmental Protection Agency</i> (EPA).....	101



El Valor de la Vida Estadística y sus aplicaciones a la Fiscalización de la Industria de Hidrocarburos

Arturo Vásquez Cordano

1. Introducción

Los esquemas de supervisión y fiscalización de las empresas del sector hidrocarburos en el Perú han venido experimentando cambios significativos en los últimos años, los cuales han tenido como propósito mejorar la capacidad del Organismo Supervisor de la Inversión en Energía (OSINERG) para ejecutar y hacer cumplir las normas que rigen este sector.

Como señalan Vásquez y Gallardo (2006), estas modificaciones han implicado un cambio en el enfoque sobre cómo se debe aplicar en la práctica la supervisión del sector hidrocarburos, hecho que ha demandado al OSINERG: a) la utilización de criterios científicos (derivados de la Estadística y de la Economía) para la determinación de las sanciones; b) el poner énfasis en la fiscalización por resultados (que prioriza la mejora gradual de los indicadores de desempeño de la supervisión y la intervención proactiva del regulador); y c) la búsqueda de la consistencia metodológica en la aplicación de multas y sanciones en diferentes ámbitos de acción del OSINERG dentro del sector hidrocarburos (tanto en la industria del gas natural como del petróleo). Asimismo, las modificaciones han precisado el diseño de instrumentos sancionadores flexibles (como las escalas de multas





y sanciones), la aplicación en simultáneo del esfuerzo de supervisión y la ejecución del sistema de sanciones, entre otros aspectos.

En este proceso, el OSINERG ha debido enfrentar la tarea de diseñar esquemas de sanciones para aquellas infracciones a las normas de seguridad del sector que provocan, *ex – post* su ocurrencia, perjuicios significativos a la sociedad, lo que en la literatura económica se conoce como *externalidades negativas*². La ocurrencia de este tipo de incidentes es un rasgo característico de la industria de hidrocarburos puesto que sus actividades industriales en las fases *upstream* y *downstream* están sujetas a una serie de riesgos que pueden provocar accidentes y perjuicios sociales significativos tanto en la etapa de construcción de la infraestructura de producción, transporte y distribución como en la etapa de operación comercial de la misma.

Los perjuicios sociales se manifiestan, por ejemplo, en la figura de daños al medio ambiente, afectaciones negativas a la integridad de las personas o daños económicos a terceros. La posibilidad de que ocurran estos perjuicios hace necesario el concurso del OSINERG para garantizar que las empresas cumplan con las normas de seguridad del sector mediante el ejercicio de la supervisión y la aplicación de sanciones para disuadir las conductas ilícitas o inducir a que las empresas internalicen de alguna manera los daños que provocan a la sociedad.

². Una externalidad negativa se produce cuando las acciones de un agente económico afectan de manera negativa el bienestar de otros agentes sin que el efecto se manifieste a través del sistema de precios de mercado (por ejemplo, que el agente que produce el daño compense económicamente a los afectados).





En el caso particular de las afectaciones a las personas, es posible medir aproximadamente el impacto que tienen los accidentes que se producen como consecuencias de infracciones a las normas técnicas y/o de seguridad sobre la integridad de las personas. Ello requiere de técnicas que permitan estimar el valor de la “vida estadística”, entendido este concepto como el valor de la disposición a pagar que muestran las personas por adoptar medidas de seguridad para reducir los riesgos de afectación a su vida. De acuerdo a la literatura, es posible utilizar este valor para diseñar esquemas de sanciones óptimos que permitan al Organismo Supervisor mejorar el cumplimiento de las normas técnicas y de seguridad en el sector.

El presente documento tiene por objeto presentar los alcances de las innovaciones implementadas por el OSINERG para mejorar los esquemas sancionadores de las infracciones a las normas técnicas y/o de seguridad en la industria de hidrocarburos, cuyas consecuencias generen daños sociales significativos (en particular los que se manifiestan en impactos negativos a la integridad de las personas). Para ello, en el documento se discutirá sobre las principales características del marco conceptual para sancionar a los agentes que cometen incumplimientos a las normas que provocan impactos negativos al bienestar de la sociedad, específicamente a la integridad de las personas. Por otro lado, se discutirá sobre los diferentes enfoques para valorar económicamente el impacto de estas afectaciones sobre el bienestar de las personas, así como los métodos de estimación de su valor. Asimismo, se analizará las aplicaciones del esquema de sanciones propuesto para la fiscalización de la industria de hidrocarburos peruana.



El documento se divide en 4 partes. En la segunda parte, se discute sobre la concepción económica de daño al bienestar de las personas, las distintas medidas de valor, y el efecto que tienen los accidentes sobre el valor de la “vida estadística”. En la tercera parte, se presentará el marco conceptual que sustenta el nuevo enfoque de supervisión y de aplicación de sanciones para los casos de infracciones que generan daños sociales de considerable magnitud, y se formulan los criterios económicos que deben utilizarse para la aplicación de multas óptimas en estos casos. Para ello, se tomará como marco de referencia la literatura sobre sanciones óptimas que se encuadra en el campo más general de la monitorización y puesta en efecto de las leyes públicas (*Public Enforcement of Law*), así como en las investigaciones de la disciplina del Análisis Económico del Derecho (*Law and Economics*), que tiene sus fundamentos en los trabajos de Becker (1968) y Stigler (1970), los cuales han sido ampliados por Cohen (1987, 1998) para el caso del análisis de infracciones que generan perjuicios sociales.

Finalmente, se presentarán y discutirán los diferentes métodos existentes para valorar la “vida estadística” y los resultados de la estimación del valor de la vida estadística para el caso peruano. A partir de estos resultados se presentará una aplicación de la metodología de cálculo propuesta para la fiscalización del sector hidrocarburos, de tal manera que se pueda probar la aplicabilidad de estos métodos para disuadir conductas ilegales que generen daños sociales importantes.

De la revisión de la experiencia internacional, puede señalarse que el nuevo enfoque para la fiscalización ante la ocurrencia de infracciones que generan

daños a la vida de las personas que es presentado en este documento es inédito respecto a otros organismos reguladores de la región. No obstante, debe decirse que la escasez de referentes internacionales, así como las recientes modificaciones al esquema de supervisión y fiscalización sugieren que esta investigación debe considerarse como el inicio de la discusión sobre los temas de aplicación de sanciones en el sector hidrocarburos más que como un debate agotado.

2. Accidentes, Daños Personales y el Valor de la Vida Estadística

Cuando una empresa en el sector hidrocarburos infringe las normas de seguridad sectoriales elevan el nivel de riesgo de sus operaciones y con ello la probabilidad de ocurrencia de accidentes severos o fatales para la vida de las personas. Esta situación hace necesaria la intervención del Estado para asegurar que las normas que velan por la seguridad de las operaciones de la industria se cumplan, garantizando asimismo la seguridad de las personas.

La justificación de la intervención del Estado como regulador del accionar de las empresas privadas mediante políticas de ejecución pública de las leyes tiene sustento en el hecho que existe una falta de incentivos por parte de los agentes privados para respetar las normas, en la medida que ellos puedan obtener mayores beneficios económicos violándolas que cumpliéndolas (Becker;1968). En este sentido, como señalan Vásquez y Gallardo (2006), los agentes pueden adoptar conductas oportunistas para obtener el máximo provecho burlando la legislación y no tomando en cuenta los daños y perjuicios que sus actividades causan al resto de la



sociedad. Para corregir este tipo de conductas, el Estado, a través del uso de sus medios de coerción, puede disuadir a las empresas de cometer violaciones a las normas que atenten contra el bienestar de la sociedad.

El Estado tiene diferentes mecanismos para poder regular la conducta de las empresas entre los cuales destacan: a) los instrumentos económicos (como impuestos, subsidios o transferencias de derechos de propiedad), y b) los instrumentos de comando y control (como las multas administrativas³, sanciones no pecuniarias como los cierres, el establecimiento de límites máximos permisibles, etc.). Los instrumentos que han sido más utilizados en el Perú para regular la conducta de las empresas mediante el ejercicio de la supervisión y fiscalización de las empresas son los de comando y control. Dentro de este conjunto de instrumentos, el más utilizado por el OSINERG ha sido la aplicación de sanciones como las multas administrativas en los casos que se presenten infracciones a las normas⁴.

Como se discutirá en mayor detalle en la Sección 3 de este documento, las multas que sancionan las infracciones a las normas de seguridad tienen el propósito de disuadir el comportamiento infractor de la empresa cuyas operaciones generan accidentes considerando para ello los costos sociales

³. De acuerdo al Diccionario de la Real Academia de la Lengua Española una Sanción es una penalidad que una ley o un reglamento establece para sus infractores, mientras que una Multa es un tipo de sanción de carácter administrativo o penal que consiste en la obligación por parte de un infractor de pagar una cantidad determinada de dinero.

⁴. Para un análisis más detallado sobre este particular, consúltese el estudio de Vásquez y Gallardo (2005) que presenta un análisis del marco conceptual general para la determinación de sanciones óptimas y sus aplicaciones al sector hidrocarburos peruano.



relacionados a los daños que son provocados por los accidentes a la integridad de las personas (lo cual se conoce como “internalización” de daños). Ello hace que la penalización deba incorporar una proporción de la magnitud del daño ocasionado a la vida de los individuos.

El daño a la integridad de los individuos puede asociarse a los diferentes valores asignados a una vida humana, muchos de los cuales no pueden ser medidos directamente a través de las técnicas de mercado. Debido a esta dificultad, la literatura especializada se ha concentrado en el cálculo de la vida estadística, la cual mide la disposición a pagar de los individuos por adoptar medidas preventivas para reducir la probabilidad de ocurrencia de eventos adversos que puedan afectar severa o fatalmente su salud. En lo que resta de esta sección, se analizará de manera conceptual cómo los accidentes pueden afectar el bienestar de las personas y qué medidas de valor componen la vida estadística.

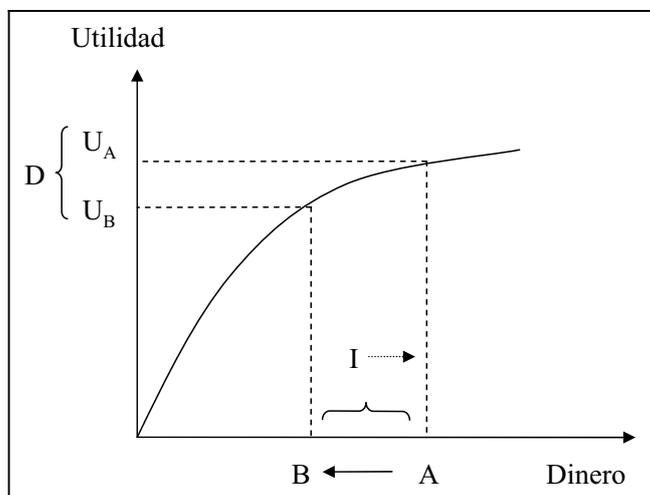
2.1. Evaluación económica de los daños personales generados por accidentes

En Economía se considera que el daño causado a un individuo representa una pérdida de su nivel de utilidad⁵. No obstante, en el campo del Derecho se acostumbra distinguir entre dos tipos de daños, los daños patrimoniales y los daños morales. En este sentido, el daño patrimonial provoca una

⁵. Para un mismo nivel de utilidad dado existirá una serie de canastas de bienes de consumo posibles que le reportan al individuo el mismo nivel de bienestar y para las cuales éste será indiferente en su elección. Desplazamientos paralelos de todas estas combinaciones en la misma proporción generarán cambios en sus niveles de bienestar. El individuo maximizará su nivel de bienestar en el punto en donde su restricción presupuestaria (el dinero al que puede acceder) equipare su nivel de utilidad.

disminución de utilidad que es resarcible con dinero o con bienes intercambiables por dinero. Por el contrario, el daño no patrimonial o moral implica una reducción del nivel de utilidad que no es compensable mediante medios monetarios. Gráficamente se pueden representar las diferencias entre ambos daños mediante la función de utilidad del dinero. Las consecuencias de un daño patrimonial se muestran en el Gráfico N° 2.1, el cual registra un movimiento hacia la izquierda a lo largo de la misma curva de utilidad. El individuo sufre un daño patrimonial D , el cual es la diferencia entre los niveles de utilidad U_A y U_B . Sin embargo, si el afectado recibe como indemnización la cantidad de dinero I , ello puede provocar que este retorne a su nivel de bienestar inicial U_A antes del accidente.

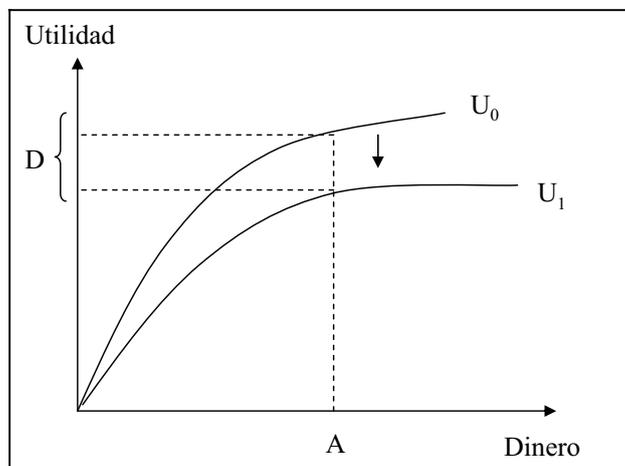
Gráfico N° 2.1
Efectos del Daño Patrimonial sobre el bienestar del consumidor



Elaboración: Oficina de Estudios Económicos – OSINERG.

Por otro lado, los efectos de un daño moral se representan en el Gráfico N° 2.2. En este caso, el impacto de un accidente no se traduce en un desplazamiento a lo largo de la curva de utilidad, sino que la curva de utilidad completa se desplaza hacia abajo. Debe observarse que el cambio no afecta a la cantidad de dinero de la cual dispone el individuo, que sigue siendo la misma (*A*). No obstante, el disfrute para ese mismo nivel de ingreso o dinero será menor. Por ejemplo, este puede ser el caso de un individuo que queda lisiado producto de un accidente. En este caso, la utilidad que le reportan 1,000 nuevos soles antes del accidente no es la misma que la utilidad que le reportan esos mismos 1,000 nuevos soles después del accidente.

Gráfico N° 2.2
Efectos del Daño Moral sobre el bienestar en el consumidor



Elaboración: Oficina de Estudios Económicos – OSINERG.

Cabe mencionar que un evento adverso como un accidente puede provocar ambos tipos de daño, es decir, que al mismo tiempo se produzca un movimiento hacia la izquierda en el nivel de ingresos y un desplazamiento hacia abajo de la curva de utilidad del individuo. Por ejemplo, considérese el caso de una persona que labora en una empresa petrolera y resulta inválida como consecuencia de un accidente. En este caso, el accidente le genera un daño patrimonial resultado de los elevados gastos en atención médica, medicinas y rehabilitación, al mismo tiempo puede generarle una reducción en sus ingresos futuros producto de una reducción en su nivel de productividad, es decir, su situación ya no será la misma a la que era antes del accidente.

Entonces, a pesar que el individuo pueda ser compensado por todas las pérdidas patrimoniales ocasionadas por el accidente, la pérdida en su bienestar no será reparable. El afectado no es indiferente entre sufrir el accidente y ser compensado, y no sufrir el accidente. Por lo tanto, la indemnización por los daños patrimoniales ocasionados no bastará para restaurar la situación de bienestar o el nivel de utilidad que gozaba el individuo antes que sucediera el accidente.

El efecto del ejemplo anterior se muestra en el Gráfico N° 2.3, en el cual una indemnización por un monto igual a I equipara el ingreso del individuo al del momento inicial (momento en el que sucede el accidente), pero este mismo monto no provoca un retorno a su nivel de utilidad inicial. Así, luego de haber sufrido el accidente, la función de utilidad del individuo se ubicará

Como se verá más adelante, este valor captura lo que una persona promedio (*persona estadística*) pagaría por disminuciones de los riesgos que atenta contra su bienestar (por ejemplo, el riesgo de perder la vida).

2.2. La Vida Estadística: Fuentes de Valor

Al igual que en el caso de la valoración de bienes y servicios ambientales, es posible recurrir al concepto de Valor Económico Total para explicar los componentes de valor que conforman el valor de la vida estadística de una persona. Segundo este concepto, el valor de todo bien o servicio posee dos componentes: su valor de uso y de no uso. En el caso que concierne a este documento, el valor de uso de una vida estadística es el componente que valoriza en términos económicos o de mercado las actividades que realiza el individuo ya sea que asigne su tiempo al ocio o al trabajo. Siguiendo la clasificación de Pearce, Markandya y Barbier (1989) para definir los componentes del valor económico total, se pueden distinguir tres clases de valores de uso:

- Valor de Uso Directo: mide directamente el costo de oportunidad del individuo entre trabajo y ocio que reflejada en su flujo de ingresos (salario). Este valor es resultado de la asignación intertemporal que realiza el individuo de su tiempo, producto de la maximización de su utilidad.
- Valor de Uso Indirecto: mide la disposición del individuo de transferir recursos a terceros ya sea en forma de trabajo no

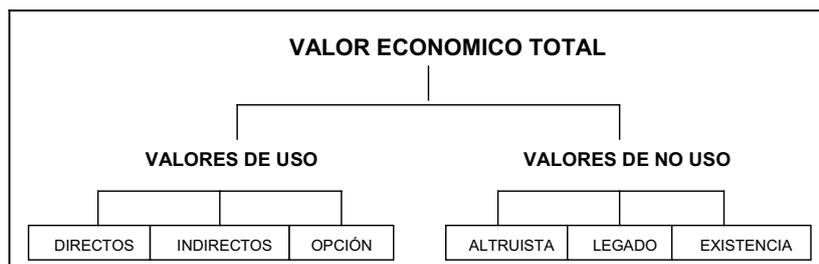
remunerado o transferencias de dinero (por ejemplo, el servicio comunal, actividades de caridad, etc.).

- Valor de Opción: mide la disposición del individuo a pagar por gozar en el futuro de tiempo para el ocio. Este valor está relacionado con la decisión del agente sobre la asignación intertemporal de su tiempo disponible entre ocio y trabajo.

A su vez, el valor de no uso está compuesto por los siguientes componentes:

- Valor de Existencia: refleja la disposición a pagar de un individuo por mantenerse vivo frente a condiciones de riesgo o situaciones de inseguridad.
- Valor Altruista: valoriza la disposición a pagar de un individuo por dejarle un legado a la sociedad. Por ejemplo, el valor que este le asigna a dejar su herencia a alguna institución de beneficencia cuando muere.
- Valor de Legado: valoriza la disposición a pagar de un individuo por dejarle un legado a sus hijos.

Gráfico N° 2.4
Fuentes de valor de una Vida Estadística



Elaboración: Oficina de Estudios Económicos – OSINERG.

De esta forma, el valor económico total, que comprende la suma de ambas fuentes de valor, constituye el valor de la vida estadística (*VVS*). Este indicador se mide como la disposición a pagar del individuo para reducir el riesgo de fatalidad o de afección grave a su salud. Una estimación del *VVS* puede ser obtenida mediante diferentes técnicas, las cuales serán presentadas más adelante.

Las precisiones realizadas respecto del concepto de *VVS* y el análisis del impacto de los accidentes a la integridad de las personas en la figura de daños patrimoniales y morales, serán útiles para entender el marco conceptual que define los lineamientos para aplicar multas óptimas por la ocurrencia de infracciones a las normas de seguridad que provocan como consecuencia accidentes.

En la siguiente sección se analizará un modelo teórico el cual asume que una proporción del valor del daño a una vida humana como consecuencia de un accidente debe incorporarse al valor de la multa para que las empresas



infractoras de las normas de seguridad tomen en cuenta los costos sociales de su conducta infractora, hecho que debe inducir a un mayor cumplimiento de la ley por parte de los administrados. El valor del daño puede ser aproximado mediante el *VVS*.

3. Marco Conceptual para la aplicación de multas administrativas por accidentes

El modelo que se utilizará para derivar la fórmula de cálculo de las multas por infracciones a las normas de seguridad está basado en los trabajos de Cohen (1987, 1999)⁶. En síntesis, el autor plantea un modelo donde existe una relación de principal – agente entre el Estado y las empresas. La función del Estado es regular, por medio de una agencia reguladora, la conducta de las empresas utilizando instrumentos sancionadores como las multas, para lo cual invierte recursos que dispone de la sociedad con el objeto de detectar tanto el incumplimiento de las normas *ex – ante* la ocurrencia de accidentes como los daños causados a la sociedad por los accidentes que se generan *ex – post* el incumplimiento de las normas. Con ello, el Estado busca minimizar la pérdida de bienestar social que enfrenta la sociedad por las infracciones a la ley que cometen las empresas.

En este contexto, el modelo supone que los infractores potenciales o efectivos (las empresas que no cumplen con implementar las normas de seguridad) responden, tanto a la probabilidad de detección como a la severidad de la penalización si son detectados y sancionados. Las políticas

⁶. Este modelo ha sido utilizado para sustentar las pautas de cálculo de multas por daños ambientales aprobadas por Resolución N° 032-2005-OS/GG que utiliza el OSINERG.





de disuasión empleadas por la agencia reguladora deben tener en cuenta el comportamiento de los infractores (los cuales comparan racionalmente los beneficios, costos y riesgos asociados a su comportamiento), y la disponibilidad limitada de sus recursos para supervisarlos y fiscalizarlos.

La disuasión óptima se alcanza cuando las sanciones aplicadas permiten equiparar el costo marginal que asume la sociedad por los daños asociados a las infracciones con el beneficio marginal que las empresas privadas obtienen por incumplir las normas. En otras palabras, el objetivo final de la agencia reguladora es que las empresas infractoras de alguna manera internalicen las externalidades negativas que ocasionan (por ejemplo, el daño a la vida de las personas que se producen como consecuencia del incumplimiento de las normas de seguridad).

La resolución del modelo permite deducir que en una situación donde las sanciones son meras transferencias de recursos y que los recursos dedicados a la detección y el castigo son socialmente costosos, el regulador abogará por sanciones elevadas y por un bajo nivel de costos de supervisión y fiscalización. Por otro lado, el modelo asume que el daño causado a la vida de las personas por sufrir accidentes es cuantificable y, como se verá más adelante, dependerá del valor que las personas le asignen a las medidas de seguridad para proteger su vida.



3.1. El Modelo

El modelo supone la existencia de una relación de principal - agente en la que el organismo supervisor actúa como principal y la empresa infractora como el agente. La empresa debe realizar algunas acciones costosas (no observables por el organismo supervisor) que reducen la probabilidad de ocurrencia de accidentes.

Se supone que un incumplimiento de la empresa a las normas de seguridad puede causar de manera aleatoria un accidente con consecuencias leves hasta fatales para la vida humana⁷. Entonces, para regular la conducta de la empresa y alinearla con el cumplimiento de las normas de seguridad, el organismo supervisor le aplicará una multa *ex-ante* en el caso que sus infracciones no generen accidentes y una multa *ex-post* en el caso que sus infracciones ocasionen accidentes.

Para comenzar a describir el modelo, supóngase que el daño a la vida de las personas es provocado de manera aleatoria (accidental o fortuita) por una empresa como resultado de sus actividades productivas (por ejemplo, la extracción, transporte o transformación de hidrocarburos). En este contexto, el daño a la vida está en función del esfuerzo u ⁸ para la reducción de las condiciones inseguras por parte de la empresa de modo que ésta puede

⁷. A pesar que la empresa no puede controlar directamente la ocurrencia de un accidente grave o fatal en los individuos, sí puede alterar la probabilidad de que se produzca en el tiempo.

⁸. La variable u también debe incorporar el esfuerzo que realiza la empresa cuando se somete a un proceso judicial. Con el objeto de simplificar el análisis, en este documento se asumirá que el gasto incurrido en esta etapa del proceso sancionador es pequeño en relación al gasto en adoptar las medidas de seguridad para prevenir accidentes.

modificar la distribución $F(z, u)$ de probabilidades de ocurrencia de los accidentes y así influir sobre la externalidad originada (daño a la vida de las personas).

El organismo supervisor puede supervisar las actividades de la empresa *ex - ante* la ocurrencia de los accidentes con una probabilidad $P_{ea}(e_1)$ destinando recursos por un monto e_1 . Si se observan incumplimientos a las normas de seguridad, se establece una multa *ex-ante* $M_{ea}(u)$ que dependerá negativamente del nivel de esfuerzo de la empresa por reducir las condiciones inseguras. Si la multa es apelada, el organismo supervisor deberá incurrir en gastos administrativos e_3 para aumentar la probabilidad de aplicación de la multa $P_f(e_3)$ ⁹.

Si se produce el accidente, la probabilidad de que éste sea detectado y vinculado con la empresa infractora es $P_{ep}(z, e_2)$, que se incrementa a medida que el organismo supervisor destina mayores recursos, e_2 , empleados para la supervisión y que el daño es más severo. Una vez que ocurre el accidente, el organismo supervisor establecerá una sanción *ex - post*, $M_{ep}(z, u)$. Al igual que en el caso de la multa *ex - ante*, la empresa podrá apelar la multa *ex-post*, por lo que el organismo supervisor deberá utilizar recursos iguales a e_3 para aumentar la probabilidad de su aplicación $P_f(e_3)$.

Con todo lo anteriormente mencionado, en una situación de neutralidad frente al riesgo por parte de la empresa infractora, el beneficio ilícito que se

⁹. La multa será cero si la empresa es detectada cumpliendo con las normas para un determinado nivel de esfuerzo.

genera por infringir las normas de seguridad quedará expresado de la siguiente manera:

$$\pi(u) = y(u) - P_j(e_3)P_{ea}(e_1)M_{ea}(u) - \int_z [P_j(e_3)P_{ep}(z, e_2)M_{ep}(z, u)]f(z, u)dz - u \quad (3.1)$$

donde $y_u(\bullet) < 0$

En la ecuación (3.1), π es el nivel de beneficio privado esperado que obtiene la empresa por infringir las normas de seguridad que está en función del nivel del esfuerzo u que realiza para prevenir accidentes, $y(u)$ son los ingresos adicionales que la empresa obtiene por infringir las normas (ahorro generado por no invertir). El segundo elemento de la función de beneficios es el costo en el que incurre la empresa por no obedecer los dispositivos legales *ex - ante* la ocurrencia de accidentes. Éste es igual al producto de la multa *ex - ante*, la probabilidad de que la empresa sea inspeccionada por la agencia reguladora *ex - ante* la ocurrencia del accidente y la probabilidad de que la multa se aplique si se inicia un proceso de apelación¹⁰. Cabe mencionar que en este modelo el tamaño de la multa *ex - ante*, M_{ea} , depende negativamente del nivel de esfuerzo que la empresa realiza para reducir el riesgo de accidentes.

¹⁰. Se considera que la detección de la infracción y el proceso de apelación de la multa son eventos independientes por lo cual la probabilidad total es igual a la productoria de la probabilidad de detección y de apelación. Entonces, la probabilidad de aplicación de la multa *ex - ante* es $P_1 = P_j(e_3) * P_{ea}(e_1)$, mientras que la probabilidad de aplicación de la multa *ex - post* $P_2 = P_j(e_3) * P_{ep}(e_2)$.

Adicionalmente, se descuenta de los ingresos la suma continua (o la integral para cada nivel de daño) del costo impuesto por la agencia reguladora en forma de una penalidad (multa) por la generación de daños en la vida de los individuos. Como en el caso de la multa *ex - ante*, el costo *ex - post* es igual al producto de la multa, la probabilidad de detectar la ocurrencia de un accidente y la probabilidad de que la multa se aplique si se inicia un proceso de apelación. Nótese que en este caso el tamaño de la multa M_{ep} dependerá del tamaño del accidente z y del nivel de esfuerzo u . De esta forma, el tamaño de la multa guarda relación en cierto grado con la magnitud del daño ocasionado en la calidad de vida de las personas y el esfuerzo de la empresa.

Asimismo, se considera el nivel de esfuerzo de la empresa como un costo adicional, toda vez que la empresa debe destinar recursos para el desarrollo e implementación de sistemas de seguridad y de control para prevenir posibles accidentes.

Por otro lado, se supone que la agencia reguladora busca maximizar el bienestar social minimizando la pérdida de la sociedad ante la ocurrencia de accidentes severos o fatales, la cual se define como el valor neto de la reducción en la calidad de vida de los individuos, el nivel de esfuerzo de la firma u , y los gastos en los que incurre el gobierno para supervisar a las empresas del sector hidrocarburos. Se presenta al indicador de VVS como la mejor aproximación al valor que se le asigna a una vida (siempre estadística). Entonces, la reducción en la calidad de vida de los individuos quedará expresada en función de una reducción de la vida estadística (que

se define como la diferencia entre el valor del daño en la vida estadística $VVS[(1-\phi)z]$ y los costos de remediación $R(\phi z)$ (donde ϕ es la proporción del daño a la vida que se logra recuperar¹¹). Así, la pérdida de la sociedad quedará expresada de la siguiente manera:

$$W = - \int_z \sum_{i=1}^N [VVS_i(1-\phi z) - R(\phi z)] f(z,u) dz - u - e_1 - e_2 - e_3 \quad (3.2)$$

donde $i=1,2,\dots,N$ es el índice del número de individuos afectados por los accidentes.

Como se puede observar, la variable que mide el esfuerzo de la empresa para prevenir los accidentes es importante en la formulación del modelo. Sobre todas las variables anteriores, el organismo supervisor puede controlar los niveles de monitorización y puede ordenar que la empresa infractora remedie parte de los daños a la salud de las personas afectadas.

No obstante, no se puede observar directamente el nivel de esfuerzo que la empresa realiza para reducir la probabilidad de ocurrencia de accidentes. A pesar que esta variable no es observable directamente por la agencia reguladora, ésta aplica la multa *ex post* de manera tal que la empresa se incline a realizar el esfuerzo óptimo u^* . De esta manera, la multa hace que la empresa causante de los accidentes internalice los daños, lo cual induce a

¹¹. Se asume al igual que en la Sección 2 de este documento que es posible, al menos parcialmente, recuperar el nivel de bienestar de los individuos afectados por un accidente mediante la recuperación de la salud o la indemnización.

que el costo privado se iguale al costo social que provoca el daño a la vida de los individuos.

3.2. Multa *Ex - Post*

Para demostrar este resultado se procede como sigue. Diferenciando la ecuación (3.1) respecto al nivel de ocurrencia de accidentes se obtiene que el costo marginal privado (*CPMg*) derivado del incumplimiento de las normas de seguridad es equivalente a:

$$CPMg = \frac{\partial \pi}{\partial z} = -[P_j(e_3)P_{\varphi}(z, e_2)M_{\varphi}(z, u)]f(z, u) \quad (3.3)$$

Por otro lado, diferenciando la expresión (3.2) respecto al nivel de ocurrencia de accidentes se obtiene que el costo marginal social esperado del daño en la vida del individuo (*WMg*) es:

$$WMg = \frac{\partial W}{\partial z} = -\left\{ \sum_{i=1}^N [VVS_i (1 - \phi z) - R(\phi z)] \right\} f(z, u) \quad (3.4)$$

Igualando las expresiones (3.3) y (3.4) se obtiene el valor óptimo para la multa por accidentes severos o fatales:

$$CPMg = WMg$$

$$\begin{aligned}
 & - \left[P_J(e_3) P_{ep}(z, e_2) M_{ep}(z, u) \right] f(z, u) = \\
 & - \left\{ \sum_{i=1}^N [VVS_i (1 - \phi z) - R(\phi z)] \right\} f(z, u) \quad (3.5)
 \end{aligned}$$

Simplificando la expresión anterior, se obtiene la fórmula de la multa óptima:

$$M_{ep} = \frac{\sum_{i=1}^N [VVS_i (1 - \phi z) - R(\phi z)]}{P_J(e_3) P_{ep}(z, e_2)} = \frac{VVS - R}{P_2} \quad (3.6)$$

La expresión anterior indica que la multa por accidentes es proporcional al valor económico del daño (asociado a la pérdida de vidas) e inversamente proporcional a la probabilidad de aplicación de la multa *ex - post* P_2 . De esta manera, la multa constituye un instrumento que permite equiparar el costo social esperado con los beneficios esperados de la empresa, con lo cual aquella internaliza los daños ocasionados por su incumplimiento a las normas de seguridad.

El Gráfico N° 3.1 muestra las curvas de costo marginal social y costo marginal privado debido a los accidentes que se producen por infracciones a las normas de seguridad. La curva de costos privados es decreciente debido a que la empresa obtiene más beneficios ilícitos reduciendo sus inversiones en las medidas de seguridad que reducen el riesgo de accidentes. En el punto **B**, la empresa no invertiría ningún recurso generándose un costo social vinculado al punto **D**. En contraste, la curva de costos sociales es

Sin embargo, la empresa tiene incentivos económicos para invertir menos recursos en medidas de seguridad puesto que puede obtener ganancias ilícitas evitando o postergando sus inversiones, por ejemplo, hasta el punto **b**. En ese punto, el costo social ascenderá aproximadamente hasta el punto **a**, presentándose una discrepancia entre los costos social y privado, lo cual genera un daño neto para la sociedad (externalidad) equivalente al área del triángulo ΔabE^* .

La intervención del organismo supervisor a través de la imposición de una multa *ex – post* como la mostrada en líneas anteriores puede, en última instancia, eliminar el triángulo de pérdida social¹³ y elevar el nivel de esfuerzo de la empresa, con lo cual es posible alcanzar el punto óptimo E^* .

Sin embargo, el organismo supervisor generalmente no posee facultades compensatorias¹⁴, por lo que no es posible cargar todo el valor del daño en la multa administrativa. Lo conveniente es adicionar a la multa sólo una proporción del daño causado, de tal manera de convertir a la sanción en un instrumento que sirve de señal a la empresa de que va a tener que asumir parte de los costos generados por las externalidades que causa a la sociedad. En este sentido, la multa M^* permite internalizar o corregir en alguna

¹³. Existen 3 diferentes tipos de políticas alternativas que pueden ser implementadas para internalizar los daños provocados por accidentes: establecer un estándar de seguridad u^* que permita alcanzar el nivel de equilibrio E^* , establecer una tasa para compensar a los afectados y aplicar subsidios para la compensación de los afectados.

¹⁴ Para eliminar el triángulo de pérdida social sería necesario establecer un fondo de remediación desde donde se desembolsen los recursos necesarios para indemnizar a los afectados o reparar los daños causados al medio ambiente u otros por el inadecuado aprovisionamiento de las medidas de seguridad pertinentes por parte de las empresas.

medida las externalidades negativas generadas a la sociedad por los accidentes.

Derivación de la fórmula de cálculo

Para hallar una fórmula que pueda ser factible de aplicar por la agencia reguladora, es necesario asumir que el Estado define un conjunto de normas de seguridad que deben ser cumplidas por las empresas para reducir al mínimo posible la ocurrencia de accidentes. Si se detecta un incumplimiento *ex - ante* la ocurrencia del accidente, la empresa deberá pagar una multa que refleje el beneficio ilícito asociado a la infracción de no invertir en implementar las medidas de seguridad adecuadas, así como la probabilidad de detección del incumplimiento. Si surge un accidente producto de un inadecuado provisionamiento de las medidas de seguridad, la multa *ex - post* deberá considerar, además del costo evitado o ganancia ilícita, una proporción del daño generado a la sociedad originado por la pérdida de valor de la vida estadística como una medida de la gravedad de la infracción.

Estas medidas determinan un nivel de esfuerzo mínimo (u^*)¹⁵ necesario que la empresa debe realizar para reducir a niveles aceptables la probabilidad de que el riesgo de accidentes (z) supere el límite máximo permisible o el nivel

¹⁵. La medida teórica del nivel de esfuerzo mínimo u^* corresponde a los costos de operación y mantenimiento, la inversión de capital y los gastos no depreciables para la prevención óptima de accidentes.

de tolerancia que es aceptable por el Estado (z^*)¹⁶. En consecuencia, siempre y cuando se cumplan dichas normas, se reducirá el riesgo de generación de accidentes. A partir de la expresión teórica (3.6), es posible deducir una fórmula lineal de aplicación práctica para el cálculo de las multas por accidentes severos o fatales. Para ello es necesario definir previamente qué variables influyen en la ocurrencia de estos accidentes. Se supone que el riesgo de accidentes z depende del nivel de esfuerzo u controlable por la empresa, de otros factores no controlables por la empresa θ y de una perturbación aleatoria ε , de forma que:

$$z = z(u, \theta, \varepsilon) \quad (3.7)$$

Asumiendo que el esfuerzo de supervisión *ex – post* realizado por la agencia supervisora está fijo (\bar{e}_2), y que la probabilidad de aplicación de la multa (e_3) es igual a 1, se puede simplificar la expresión (3.6) como sigue:

$$M_{ep}(z) = VVS - R \quad (3.8)$$

Se puede re-exresar la fórmula anterior en términos del desvío del límite máximo de exposición a condiciones inseguras, el cual es una aproximación

¹⁶. Se supone que la probabilidad de ocurrencia de daño o *riesgo aceptable* es determinado por el Estado a partir de múltiples requerimientos expresados en normas de mandato y control (N) y que el nivel de riesgo efectivo z depende del nivel de esfuerzo del agente regulado $z(u)$. Por lo tanto, niveles de ocurrencia de accidentes aceptables podrían exigir un nivel de esfuerzo mínimo, por lo que las normas N deberían ser expresadas en términos de niveles de esfuerzo mínimos u^* de tal forma que $z(u^*(N))$, donde u^* refleja los costes en los que se incurre la empresa para lograr el cumplimiento de las normas.

de la diferencia entre el valor de la vida estadística y el costo de recuperación o remediación de la salud.

$$M_{ep}(z - z^*) = VVS - R = \omega [z(u, \theta, \varepsilon) - z^*(u^*)] \quad (3.9)$$

donde ω es un parámetro de ajuste tal que $\omega < 1$. Dado que la discrepancia entre la exposición efectiva a condiciones inseguras y el límite máximo permisible puede superar la diferencia entre la vida estadística y el costo de restauración, el parámetro ω corrige la discrepancia atenuando la diferencia entre el nivel observado de exposición a condiciones inseguras y el máximo permisible. Si $z(u, \theta, \varepsilon)$ es aditivamente separable entre su componente determinístico y su componente aleatorio se tiene que:

$$\begin{aligned} z &= z(\theta) + z(u, \varepsilon), \\ z(u, \varepsilon) &= \beta u + \varepsilon, \\ z^*(u^*) &= \beta u^* \end{aligned} \quad (3.10)$$

donde $\beta < 0$ ¹⁷. Reemplazando las últimas expresiones en la ecuación (2.6) se halla que:

$$M_{ep}(z - z^*) = \omega\beta(u - u^*) + \omega z(\theta) + \omega(\varepsilon) \quad (3.11)$$

¹⁷. Dado que el esfuerzo de la empresa reduce el riesgo de accidentes, β debe ser negativo para garantizar esta relación.

El primer componente de la ecuación (3.11) refleja el beneficio aproximado obtenido por la empresa infractora cuando realiza un menor esfuerzo al óptimo para prevenir los accidentes. El segundo componente es una proporción de la vida estadística, tal que $z(\theta) = \alpha \sum_i VVS_i$ donde α refleja la proporción de la pérdida de la vida estadística atribuible a factores no controlables por la empresa. El último factor es un componente aleatorio que refleja el margen de error en el cálculo de la multa. Esta expresión se puede re-escribir de la siguiente manera:

$$\begin{aligned}
 \underbrace{M_{ep}(z - z^*)}_{M_{ep}^*} &= \underbrace{\omega\beta(u - u^*)}_B + \underbrace{\omega\alpha \sum_i VVS_i}_{\delta VVS} \pm \underbrace{\omega(\varepsilon)}_A \quad (3.12) \\
 &\rightarrow M^* = B + G + A^{18}
 \end{aligned}$$

donde B es el beneficio económico adicional obtenido por el incumplimiento de las normas de seguridad y es calculado en base a los costos evitados asociados a la infracción tipificada en la escala de multas y sanciones a través de métodos de costeo y valoración financiera, $\delta = \omega\alpha$ es el porcentaje de la Vida Estadística que se carga en la multa administrativa, ΣVVS es el valor económico del daño causado a la vida de

¹⁸. Esta expresión no elimina completamente la externalidad causada por las empresas al incumplir con las normas de seguridad porque, además de considerar sólo una fracción del daño por los motivos mencionados anteriormente, es una aproximación lineal que considera un margen de error.

los individuos afectados, y A son los atenuantes y agravantes vinculados al comportamiento procesal de la empresa una vez ocurrido el accidente.

Los atenuantes y agravantes A representan la parte aleatoria de la multa *ex post* $\omega(\epsilon)$ y refleja el margen de error que es inherente, primero, al cálculo del valor del daño en la vida de las personas (debido a la imposibilidad de incorporar todos los factores que producen el daño) y a los errores de medición en el cálculo de los costos evitados. La presencia de la parte aleatoria en la ecuación teórica de la multa justifica la inclusión de factores agravantes o atenuantes en la fórmula práctica con el propósito de corregir el valor de la multa de manera aproximada.

3.3. Multa *Ex - Ante*

Para derivar la fórmula de cálculo de la multa *ex - ante* se procede como sigue. Considérese que la multa óptima *ex - ante* es aquella que iguala los beneficios de la empresa y el costo de no prevenir las infracciones a las normas de seguridad de modo que la empresa no tenga incentivos para infringir la ley. Este es el resultado si se tiene en cuenta que en una situación *ex - ante* no existe daño en la vida de las personas ya que no ha ocurrido accidente alguno por lo que la expresión de la integral en (3.1) se iguala a cero. Luego de hacer las eliminaciones respectivas y asumiendo que el esfuerzo de fiscalización *ex - ante* está fijo \bar{e}_1 al igual que el esfuerzo para que se aplique la multa \bar{e}_3 , la ecuación (3.1) queda expresada de la siguiente manera:

$$\pi(u) = y - u - P_J(\bar{e}_3)P_{ea}(\bar{e}_1)M_{ea}(u) \quad (3.13)$$

La multa óptima es aquella que hace los beneficios netos (3.9) iguales a cero, por lo que la multa óptima *ex - ante* es:

$$M_{ea}^* = \frac{y - u}{P_J(\bar{e}_3)P_{ea}(\bar{e}_1)} = \frac{B^*}{P_1} \quad (3.14)$$

La multa óptima *ex - ante* es igual al beneficio ilícito B^* asociado a la infracción entre la probabilidad de aplicación de la multa *ex - ante* P_J . Ésta disuade a la empresa infractora para que no tenga incentivos a desobedecer las disposiciones para la prevención de la ocurrencia de accidentes. En este caso, la sanción óptima es la multa por la cual la empresa se torna indiferente entre obedecer y no la ley.

En síntesis, el modelo de principal - agente establece que para regular la conducta de las empresas que infringen las normas de seguridad es necesaria la supervisión y fiscalización bajo dos escenarios: *ex - ante* y *ex - post* la ocurrencia de accidentes. La multa *ex - post* debe incorporar una proporción del valor del daño a la vida de las personas ocasionado por los accidentes con el propósito de que las empresas tengan en cuenta los daños que provocan a la sociedad cuando infringen las normas (es decir, inducir las a internalizar los costos sociales de sus infracciones). Entonces, la

¹⁹. En este sentido, el beneficio privado derivado de la decisión de infringir las normas es igual a $y - u$, es decir los ingresos que obtiene la empresa por el incumplimiento de las normas menos los gastos que realiza la empresa para prevenir los accidentes.

determinación de la multa administrativa *ex - post* requiere que se calcule el daño causado a la vida de las personas que, como se verá más adelante, dependerá del valor que una persona le asigne a las medidas preventivas para garantizar su seguridad.

4. Metodología para el Cálculo de las Multas *Ex - Post*

Una vez discutidos los fundamentos conceptuales para la aplicación de multas por infracciones a las normas de seguridad que generan accidentes y definidas las fórmulas de cálculo general de multas para los escenarios *ex - ante* y *ex - post*, en esta sección se discutirá acerca de las distintas metodologías para calcular en la práctica los componentes que integran las fórmulas de las multas. Ello permitirá establecer criterios específicos para estimar estos componentes, haciendo factible la graduación del valor de las multas dentro de los rangos permitidos por la escala de multas y sanciones del OSINERG²⁰ en función de la magnitud de los incidentes.

4.1. Cálculo del Factor *B*

La multa, como mínimo, debe recuperar el beneficio económico que la empresa infractora hubiera podido obtener por el incumpliendo de la ley. Este componente de la multa posee la mayor importancia para mantener la justicia e imparcialidad de la aplicación de la sanción, lo cual asegura que

²⁰. La cota máxima permisible para las multas por infracciones a las normas de seguridad en la industria de hidrocarburos peruana establecida en la Resolución N° 028-2003-OS/CD asciende a 1,000 UIT.

las empresas que cumplan con los compromisos de seguridad tengan incentivos económicos para hacerlo. En este sentido, la medida del beneficio económico apropiada está dada por el monto de dinero que haría al infractor indiferente entre cumplir o incumplir con las normas.

La metodología de cálculo para estimar la variable **B**, toma como punto de partida el BENMODEL²¹, esquema desarrollado por la *Office of Enforcement and Compliance Assurance* de la *U.S. Environmental Protection Agency* (EPA). El modelo BEN tiene por objeto la cuantificación de los beneficios económicos derivados del incumplimiento de los compromisos para garantizar condiciones adecuadas de seguridad de acuerdo a la ley asumidas por las empresas privadas.

El beneficio económico del incumplimiento de las normas operativas y de seguridad se estima a partir de la ganancia privada obtenida por evadir y/o postergar los compromisos para garantizar niveles de seguridad adecuados conforme a la ley. El BENMODEL es un modelo financiero que estima la ganancia privada directa de evadir y/o postergar inversiones destinadas a garantizar condiciones de seguridad que sean consistentes con las exigencias de la ley, es decir, la ganancia extra resultante del ahorro de costos sin considerar los efectos que podría tener dicho ahorro en los ingresos del infractor. Este ahorro puede ser contabilizado a partir de los incrementos en el Flujo de Caja Financiero de Costos Netos (FCFCN)

²¹. En el Anexo N° 1 se realiza una presentación sobre este modelo.

correspondiente a los distintos tipos de egresos relacionados al control de la seguridad que han sido evitados y/o postergados²².

En el seno del enfoque del beneficio económico subyace el concepto de costo de oportunidad de los recursos, o sea los fondos no gastados en el cumplimiento de los compromisos y/o las regulaciones de las condiciones de seguridad, y que en consecuencia, están disponibles para otras actividades lucrativas que incrementan el flujo de caja del infractor. Por otro lado, el BENMODEL no considera la incertidumbre pues se supone que si existe una infracción, puede detectarse con una probabilidad de 1. En otras palabras, la multa constituye el equivalente cierto²³.

El BENMODEL se basa en el uso de las técnicas de ingeniería para la estimación de costos dado que desarrolla y estima los costos de los

²². Sin embargo, también puede darse el caso que hayan surgido beneficios económicos indirectos producto de la postergación o evasión de los compromisos ambientales que desencadenaron accidentes. Estos beneficios están asociados a la posibilidad de que los ingresos del concesionario u operador de una instalación hayan aumentado al obtener ventajas ilícitas derivadas de la comisión de la(s) infracción(es) asociada(s) a accidentes que involucran daños a la vida de las personas. El problema radica en que su estimación monetaria y su verificación es muy compleja por lo que el BENMODEL no los considera, basando la estructura del flujo de caja financiero en los factores que afectan el beneficio económico directo. No obstante, como se ha discutido anteriormente, en teoría la inclusión de factores atenuantes y agravantes debería corregir los sesgos generados por el problema asociado a la correcta medición del beneficio económico señalado.

²³. En la práctica esta probabilidad puede ser menor, dependiendo del nivel de recursos destinados al programa de supervisión y de la frecuencia de inspecciones, por lo que el monto de dinero que volvería indiferente a la empresa entre cumplir o incumplir debe incrementarse en un factor que sea igual a la razón entre el FCFN derivado del incumplimiento en el escenario incierto y el escenario cierto. Estos incrementos adicionales deberían incorporarse en cada una de las partidas inciertas que intervienen en el FCFN. En particular, suponemos que el infractor es neutral al riesgo de ser detectado, por lo que no se realiza el ajuste por riesgo. La fórmula (3.12) se ha derivado tomando en cuenta estos supuestos.

componentes necesarios para garantizar el cumplimiento de las normas, por medio de la identificación sistemática de todos los requerimientos necesarios para la implementación de las actividades de control de la seguridad. Por otro lado, el BENMODEL hace uso de las técnicas de escenarios puesto que el modelo establece dos escenarios dependiendo de la forma cómo se cumplan las normas técnicas y de seguridad. El primer escenario recibe el nombre de *Escenario de Cumplimiento a Tiempo* en el cual se identifica el flujo esperado de costos de cumplimiento de los compromisos normativos condicionado a que el concesionario/operador de una instalación hubiera cumplido con los compromisos legales en las fechas establecidas por los mismos. El segundo escenario recibe el nombre de *Escenario de Cumplimiento Postergado* e identifica el flujo de costos de cumplimiento condicionado a que el concesionario/operador ha postergado el cumplimiento de los compromisos a una fecha posterior.

En suma, el Factor **B** se divide en tres componentes: **a) Inversiones en Capital** para implementar las medidas de prevención de accidentes (costos de equipos e instrumentos, así como la infraestructura para el control de accidentes y daños), **b) Gastos No Depreciables** como el establecimiento de un sistema de auto monitoreo y reporte, o una consultoría de diseño de medidas preventivas, **c) Costos Anuales Evitados**, representados por los costos de operación y mantenimiento de las inversiones realizadas. El procedimiento para hacer el cálculo financiero del Factor B es el siguiente:

- a) Las Unidades de Supervisión responsables de la vigilancia de la seguridad en el sector hidrocarburos harán un inventario de los

equipos de capital, las medidas de control de las condiciones de seguridad y los costos de operación y mantenimiento de acuerdo a la experiencia de campo, los costos estándares internacionales de los equipos de prevención de accidentes, la información que proporcionen las empresas bajo declaración jurada, y la información de documentos que impliquen compromisos (por ejemplo, las fichas de auto supervisión).

- b) Se valorizarán estos componentes en dólares corrientes.
- c) Se hace la proyección del flujo de caja del monto de inversiones para un período inicial de 10 años²⁴ (ciclo inicial de operación del capital)²⁵ y un segundo período que involucra el primer ciclo de reemplazo del capital²⁶. En el año 0 se imputa el valor de las inversiones en dólares. Del período 1 al 10 se imputa el valor de la

²⁴. Este período de tiempo es usualmente utilizado para la proyección de flujos de caja en los estudios de factibilidad y de evaluación de proyectos. Equivale a un cuarto del período de tiempo de la depreciación contable para los inmuebles. Véase Sapag, N. *Preparación y Evaluación de Proyectos* (4ta. Edición). Santiago: McGraw - Hill.

²⁵. El ciclo primario corresponde al primer ciclo de vida del activo, es decir el periodo de tiempo que un activo es útil en términos económicos a partir de la primera vez que es adquirido.

²⁶. El ciclo de reemplazo viene a ser el ciclo de vida de un activo repuesto luego de haberse adquirido y consumido. La principal razón para validar el supuesto de que el número de ciclos de reemplazo es uno subyace a la estructura del modelo financiero: el valor presente de los costos futuros de cumplimiento se reduce más rápidamente cuanto más alejados se encuentran los costos futuros respecto de la fecha de incumplimiento. De esta forma, los ciclos de reemplazo posteriores al primero casi no tienen impactos significativos sobre el beneficio económico.

depreciación constante calculada en base al método de depreciación lineal.

- d) Para el cálculo del escudo fiscal por concepto del pago del impuesto a la renta se utiliza el valor establecido en la normativa vigente (30% del impuesto a la renta).
- e) Se puede considerar para la actualización de los flujos de caja una tasa de descuento promedio 12.23%²⁷.
- f) Se calcula el valor actual neto (VAN) del flujo de caja después de impuestos para el monto de inversiones:

$$VAN = Inversión Inicial (-) + \sum_{t=1}^N \left(\frac{FCN_t}{(1+r)^t} \right) \quad (4.1)$$

donde FCN_t es el flujo de caja neto y r es la tasa de descuento. N es igual a 10 años.

- g) Se calcula el VAN en la fecha de incumplimiento de los flujos de caja netos relativos a los costos de cumplimiento que el infractor

²⁷. Estimaciones realizadas por la Oficina de Estudios Económicos del OSINERG señalan que la tasa costo de oportunidad ponderada para el sector hidrocarburos peruano asciende en promedio a 12.23%. Esta cifra guarda consistencia con la tasa de descuento de 12% establecida en los contratos BOOT de transporte y distribución de gas natural en el marco del Proyecto Camisea. Debe señalarse que esta tasa también corresponde al factor de actualización del Valor Nuevo de Reemplazo mencionado en el artículo 79° del Decreto Ley 25844 – Ley de Concesiones Eléctricas. Un estudio sobre el costo de oportunidad del capital para el sector hidrocarburos será publicado próximamente por la Oficina de Estudios Económicos.

habría obtenido si hubiera cumplido con las normas a tiempo. (FCN del Escenario de Cumplimiento a Tiempo).

- h) Se calcula el VAN en la fecha de incumplimiento de los flujos de caja netos relativos a los costos de cumplimiento que ha obtenido o que obtendrá el infractor a partir del momento en el que se desembolsan los gastos e inversiones necesarios para cumplir con las normas. (FCN del Escenario de Cumplimiento Postergado).
- i) Se calcula el valor actual neto (VAN) de los costos anualmente evitados para el período que comprende desde la fecha de incumplimiento hasta el año donde se calcula la multa (período que dura la situación de incumplimiento).
- j) Se calcula el *beneficio económico inicial* obtenido por el infractor en la fecha de incumplimiento. Este es la diferencia entre el VAN de los flujos de caja del *Escenario de Cumplimiento a Tiempo* y del *Escenario de Cumplimiento Postergado*, más el VAN de los *costos anuales evitados* (la suma del VAN de la Inversión en capital, el VAN de los gastos no depreciables y el VAN de los costos de operación y mantenimiento).
- k) Se calcula el Factor **B** en la fecha de pago de la multa, el cual es obtenido calculando el valor del beneficio económico inicial en la fecha de pago de la multa por medio de la capitalización del beneficio inicial a una determinada tasa de actualización. Dicha

tasa depende de la tasa de descuento elegida y del período de tiempo entre la fecha de incumplimiento y la fecha de pago de la multa. Este período puede ser expresado en días, meses y/o años.

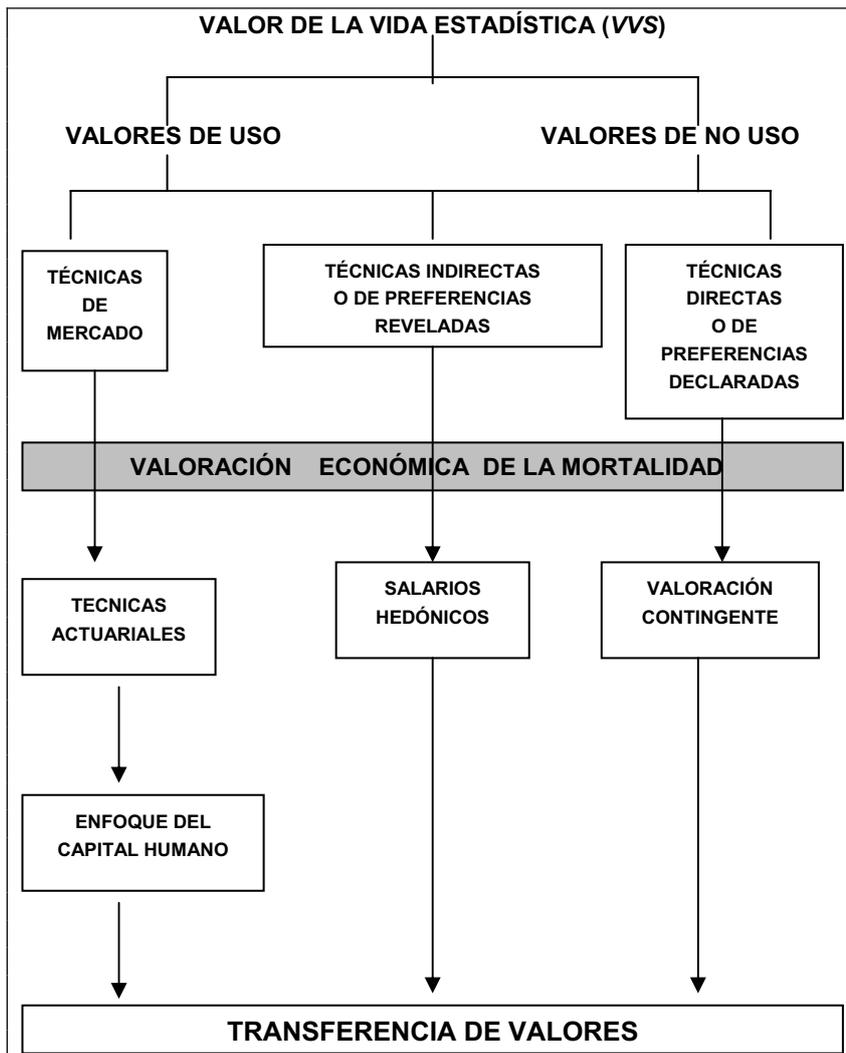
4.2. Metodologías existentes para la estimación del Valor de la Vida Estadística

La multa por accidentes óptima incorpora como factor de agravación de la sanción una proporción del valor del daño sobre la vida estadística (*VVS*) de las personas producto de las infracciones a las normas de seguridad. En la literatura económica, este valor del daño ha sido aproximado mediante el uso de una serie de metodologías que estiman el *VVS* y que se bosquejan en el Cuadro N° 4.1.

En general, la literatura económica establece que la estimación del *VVS* obtenida de la aplicación del Enfoque de Capital Humano constituye una cota inferior ya que el método puede estimar sólo el valor de uso directo de una vida estadística, mientras que la estimación del *VVS* mediante la metodología de Valoración Contingente constituye una cota superior puesto que el método puede estimar tanto los valores de uso directo e indirecto como los valores de no uso de una vida estadística.

Entre estos dos extremos se encuentran las estimaciones realizadas con la metodología de Salarios Hedónicos que estima sólo los valores de uso de una vida estadística. En las siguientes sub-secciones, cada una de estas metodologías será brevemente explicada.

Cuadro N° 4.1
Metodologías empleadas para estimar el Valor de la Vida Estadística



Elaboración: Oficina de Estudios Económicos – OSINERG.

4.2.1. Enfoque del Capital Humano²⁸

Este enfoque busca estimar el valor de la vida estadística (*VVS*) haciendo uso de técnicas financieras. El método sostiene que el valor asociado de una muerte prematura o de un episodio de morbilidad está dado por el ingreso que se deja de generar como consecuencia de dicho efecto sobre la vida o la salud de una persona.

En el caso de una muerte prematura, el *VVS* resulta ser el valor actual neto del total de ingresos que la persona deja de generar desde el momento en que fallece hasta el momento en que se habría retirado de la fuerza laboral. En otras palabras, el *VVS* es el valor actual neto de la pérdida de ingresos generada por las enfermedades o por el deceso del individuo. Este método de estimación permite aproximar “el valor de uso directo” del *VVS* en términos de valores de mercado y es muy usado por las aseguradoras ya que emplea técnicas financieras para su cálculo. Una de las fórmulas comúnmente empleada en la literatura para estimar el *VVS* siguiendo este enfoque es la siguiente:

$$VVS = Ingreso \sum_{i=a}^N p(vivo)^{N-i} * (1+g)^{N-i-1} * \left(\frac{1}{1+r}\right)^{N-i} \quad (4.2)$$

²⁸. Un ejemplo de la aplicación de esta metodología es el estudio de Grand, Perel, Pitarque y Sánchez (2003).

²⁹. No se consideran los ingresos no laborales procedentes de rentas de alquileres, de ahorros generados en el sistema previsional o de alguna otra inversión ya que es posible que aunque el individuo muera, terceras personas se beneficiarán de estas rentas. En estricto, los ingresos deben considerar además de los sueldos, las bonificaciones extraordinarias, las remuneraciones de trabajadores por cuenta propia y ganancias como patrón.

Donde:

$p(\text{vivo})^{N-i}$	Probabilidad de que las personas de edad "i" estén vivas a la edad "N"
<i>Ingreso</i>	Ingreso medio laboral de las personas en el período inicial en el que se empieza a contabilizar el <i>VVS</i> .
g	Tasa de crecimiento del ingreso medio de fuente laboral
r	Tasa de descuento social

La ventaja de usar este método de estimación es la relativa simplicidad de su cálculo basado en métodos actuariales. Sin embargo, también, posee algunas desventajas:

- Desde el punto de vista del análisis microeconómico, este método de estimación no es correcto ya que los resultados no se derivan de un problema de optimización del individuo que capture la desutilidad que las personas pueden experimentar al sufrir accidentes.
- Subestima el valor del *VVS* ya que no estima los valores de "no uso".
- Sus resultados son sensibles a los supuestos que se adopten sobre los parámetros como la tasa de descuento, la tasa de crecimiento de los ingresos, etc.

A continuación se presentará un caso hipotético que ilustra la aplicación de este método:

- Un individuo de 30 años pierde la vida en un derrame de petróleo. Su ingreso promedio hasta antes del accidente era de 3,300 soles mensuales. Se asume que la edad promedio de jubilación es de 65 años, y que mensualmente aporta 11% de su salario a un fondo de jubilación (pagando una comisión de 2%). En el siguiente cuadro se especifican las variables a tomar en cuenta para el cálculo del *VVS*.

Cuadro N° 4.2
Información relevante para el cálculo del *VVS*

Variables		Fuente
Ingreso Bruto	3,300	INEI
Ingreso Neto (dscto. 13%)	2871	SPP
p(vivo)	0.99693	Tablas de Mortalidad-ONP ³⁰
g	3% anual	Simulado
r	7% anual	Simulado

Elaboración: Oficina de Estudios Económicos – OSINERG.

Rescribiendo la ecuación (4.2) y asumiendo $p(vivo)^{N-i} = \bar{p}$ (constante) para el cálculo del *VVS*, se obtiene la siguiente fórmula simplificada:

³⁰ Esta probabilidad se estima a partir de los valores de la Tabla de Mortalidad RV-85-H para el rango de 20-70 años.

$$VVS = FC * \left[\frac{1 - \left(\frac{1+g}{1+r} \right)^n}{r-g} \right] * prob(vivo)$$

Reemplazando los valores del ejemplo se obtiene que:

$$VVS = 2871 * \left[\frac{1 - \left(\frac{1+0.206\%}{1+0.565\%} \right)^n}{0.565\% - 0.206\%} \right] * prob(vivo)$$

El resultado es $VVS = 663,243$ soles que equivalen a 195 UIT.

Si se evalúa el cálculo del VVS cambiando la tasa de descuento social, es posible observar la sensibilidad de los resultados ante esta variable. Los resultados de este ejercicio se muestran en el Cuadro N° 4.3.

Cuadro N° 4.3
Cálculo del VVS ante variaciones en la tasa de descuento social

r	g	vvs	UIT
12%	3%	387,040	117
11%	3%	424,607	129
10%	3%	469,062	142
9%	3%	522,091	158
8%	3%	585,874	178
7%	3%	663,243	201

Elaboración: Oficina de Estudios Económicos – OSINERG.

Del cuadro anterior, se observa que el *VVS* se encuentra negativamente relacionado con la tasa de descuento social y positivamente relacionada con la tasa de crecimiento del ingreso, lo cual señala que los cálculos del *VVS* bajo esta metodología son sensibles a los parámetros que se elijan. Las limitaciones que presenta esta metodología para el cálculo del valor económico total de la vida estadística y la sensibilidad del método ante cambios en los parámetros sugiere la utilización de otros métodos más apropiados para lograr una correcta estimación de esta variable.

4.2.2. Enfoque de los Salarios Hedónicos³¹

Otro método para estimar el *VVS* que ha sido empleado por la literatura económica es el de los Salarios Hedónicos. Por medio de esta metodología, se estima el *VVS* en base a la evaluación de las diferencias salariales entre ocupaciones con diferentes niveles de riesgo de fatalidad. Así, el método permite relacionar las diferencias salariales con las características del trabajador (formación y cualificación del trabajador), del lugar en el que labora (condiciones de seguridad, características sindicales de la empresa) y el riesgo inherente al trabajo o riesgo de fatalidad. A partir de la modelación de estas relaciones es posible estimar la disponibilidad marginal del individuo a aceptar un incremento en su salario a cambio de un aumento en el nivel de riesgo en su trabajo y la disponibilidad marginal a pagar (renunciar a un salario mayor) por trabajar en un lugar más seguro. Una manera de formular esta relación es la siguiente:

³¹. Viscusi (1993) realizó una revisión de los resultados de diversos estudios para Estados Unidos que utilizan esta metodología.

$$\Delta w_i = H_i \beta_1 + J_i \beta_2 + \sigma_i \beta_3 + \sigma_i H_i \beta_4 + \varepsilon_i \quad (4.3)$$

Donde:

Δw_i : *Diferencia Salarial entre el establecimiento con mayor y menor riesgo de fatalidad.*

H_i : *Características de los trabajadores (i.e. nivel educativo, grupo etario, etc.)*

J_i : *Atributos del centro laboral*

σ_i : *Riesgo de fatalidad*

ε_i : *Término de error aleatorio.*

Sin embargo, existen algunas limitaciones para la aplicación de esta metodología en el caso peruano:

- Para realizar las mediciones pertinentes, el método requiere de datos microeconómicos detallados del comportamiento individual de los trabajadores, además de datos para toda la industria. Debido a las restricciones de acceso a este tipo de información en el Perú, este método sería difícil de implementar.
- El método supone que existe perfecta movilidad de factores; es decir, el individuo puede elegir el tipo de trabajo que desea desempeñar. Sin embargo, en la realidad, existen costos de transacción altos relacionados a los tiempos de búsqueda y tiempos de capacitación asociados a un cambio de ocupación. Por lo tanto,

muchos trabajadores prefieren no buscar un nuevo empleo, a pesar de no ser una elección óptima.

- Supone que existe información perfecta acerca de las características de los puestos de trabajo disponibles en el mercado. Sin embargo, muchas veces no toda la información es conocida por el interesado antes de la aceptación del contrato de trabajo con la especificación del salario correspondiente.

Debido a las imperfecciones en el mercado de trabajo descritas en los dos últimos puntos, esta metodología tiende a subvalorar el valor de la vida estadística, por lo cual no sería apropiada para hallar resultados cuyo objetivo sea la definición de esquemas sancionadores óptimos.

4.2.3. Valoración Contingente

Este método trata de capturar todos los valores que una persona le asigna a su vida frente a situaciones de riesgo en base a la estimación de su disposición a pagar (DAP) por mantener medidas preventivas para reducir el riesgo de fatalidad. Ello permite recoger estos valores a partir de la implementación de una encuesta laboral que plantea escenarios hipotéticos a los entrevistados sobre situaciones de riesgo en el centro laboral. Por lo tanto, el método calcula tanto el valor de la productividad perdida como la desutilidad que las personas le asignan a sufrir un daño como consecuencia de la ocurrencia de un accidente (valores de uso y de no uso).

Este método sería el más adecuado para estimar el *VVS* ya que captura los valores de uso y de no uso que una persona le asigna a su vida, sin embargo, los resultados pueden perder precisión si la encuesta no se encuentra bien diseñada (no se plantea bien el “escenario hipotético”), si los encuestadores no se encuentran bien capacitados, si no se elige un buen método para encuestar (por correo, vía telefónica, personal), si no se elige un buen método de muestreo para seleccionar a los encuestados, entre otros.

La implementación de esta metodología para el caso peruano sería muy costosa desde el punto de vista regulatorio debido a: a) los altos costos inherentes a llevar a cabo un proceso de encuestas de valoración contingente, y b) la falta de experiencia para la realización de encuestas laborales especializadas lo que demandaría una capacitación de los encuestadores retrasando el período de ejecución de la metodología varios meses.

4.2.4. Método de Transferencia de Valores

Esta metodología ha sido empleada muy difundidamente en la estimación de daños ambientales, midiendo las disposiciones a pagar (*DAP*) por las medidas de prevención y conservación del medio ambiente estimadas en estudios de valoración específicos nacionales o internacionales para reservas naturales, parques nacionales, ecosistemas frágiles, espacios recreativos, humedales, bosques tropicales primarios y secundarios, áreas costeras y marinas, espacios naturales serranos, estudios recopilatorios de valoración, entre otros.

Sin embargo, el método de Transferencia de Valores, también, ha sido empleado en algunos estudios para aproximar el valor de la vida estadística (VVS) midiendo las disposiciones a pagar de los individuos por mantener medidas preventivas para reducir el riesgo de fatalidad. Esta metodología consiste en adaptar resultados de estudios existentes para obtener la valoración de otro bien con características similares (por ejemplo, la vida estadística), sin la necesidad de definir y llevar a cabo un nuevo estudio de valoración *ad hoc*.

Las investigaciones sobre la materia habitualmente toman los valores de estudios previos sobre bienes semejantes a los que buscan valorar y los transfieren a un contexto diferente realizando una serie de ajustes para garantizar una reducción de los errores asociados a la transferencia.

Por ejemplo, el malestar causado a un individuo por sufrir un accidente en su centro de trabajo ocasionado por un inadecuado aprovisionamiento de medidas de seguridad necesarias puede ser calculado en términos monetarios a partir de un estudio de valorización contingente (VC) que proporciona la disposición a pagar de un individuo por evitar este riesgo, o bien a través de la técnica de salarios hedónicos, aplicada a las diferencias salariales entre ocupaciones con diferente nivel de riesgo. Estos valores podrían usarse para estimar las pérdidas derivadas de afectaciones leves o graves en la salud del individuo en otras ubicaciones geográficas.

En general, la transferencia de valores presenta dos dimensiones: la dimensión espacial y la dimensión temporal. De esta manera, ésta puede

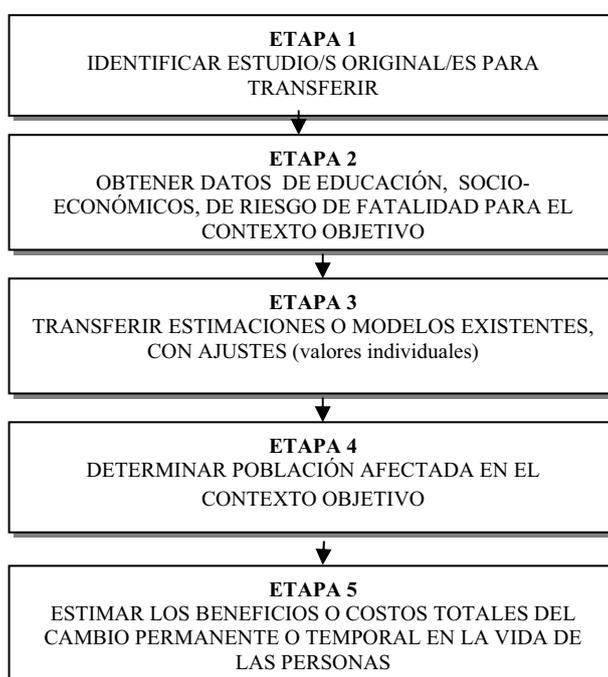
aplicarse para el mismo lugar o problema en distintos momentos (transferencia intraespacial e intertemporal), entre dos lugares o contextos diferentes en el mismo momento (interespatial e intratemporal), o bien –la opción de mayor complejidad aunque la más habitual– entre diferentes contextos y momentos temporales (interespatial e intertemporal).

El costo de utilizar esta metodología estriba en que se pierde precisión en las estimaciones a causa de las diferencias socio-económicas y de las características físicas, biológicas y ecológicas del contexto para el que se pretende transferir los valores y el contexto donde se han producido inicialmente las estimaciones. La realización de los ajustes pertinentes es crucial para corregir los errores que puedan surgir de la extrapolación de la información obtenida en otros contextos. En el Gráfico N° 4.1 se presenta un diagrama de flujo que representa los pasos a seguir para la realización de una adecuada transferencia de beneficios.

No obstante, la principal ventaja de la transferencia de valor es que evita la realización de un nuevo ejercicio de valoración de costos y beneficios cada vez que se necesitan estimaciones para, por ejemplo, definir la responsabilidad ante un accidente que afecte leve o gravemente la salud de una persona. Ello permite reducir los costos de las estimaciones en términos de tiempo, recursos económicos y humanos. Se trata, por tanto, de una alternativa costo-efectiva a la realización de nuevos estudios de valoración de bienes sin mercado y muy atractiva para administraciones o instituciones públicas. Así, las áreas en las que se han realizado transferencia de valores son múltiples, entre ellas podemos mencionar: calidad de agua, riesgos para

la salud humana derivados de diversas formas de contaminación, gestión de residuos, beneficios recreativos de áreas naturales, etc.

Gráfico N° 4.1
Etapas básicas de la transferencia de valor



Elaboración: Oficina de Estudios Económicos – OSINERG.

Dada la ventaja en términos de ahorro de costos, la posibilidad de realizar transferencias de beneficios ha sido debatida y probada de forma extensiva, principalmente en los Estados Unidos. En el año 1992, el *Water Resources Research Journal* dedicó un número especial a esta metodología, en el que



Desvousges, Naughton y Parsons (1992), así como Boyle y Bergstrom (1992) establecen algunos criterios para realizar una adecuada selección de los estudios necesarios a fin de realizar futuras transferencias de valores.

Entre las recomendaciones que se plantearon se encuentran la priorización de los criterios de homogeneidad en el tipo de bienes valorados, las características de los usuarios, y la calidad de los estudios de referencia. Respecto a la validez de las transferencias, destacan los trabajos de Downing y Ozuna (1996), Kirchoff, Colby y LaFrance (1997), así como Brouwer y Spaninks (1999) basados en estudios de valoración contingente.

Existen varias posibilidades cuando se trata de realizar transferencias de valores, que difieren en su complejidad, pero también en la fiabilidad de los resultados obtenidos (Desvousges, Reed y Spencer; 1998). La primera posibilidad es realizar la transferencia del *valor unitario medio*. Esta opción supone que el lugar o lugares para los cuales se dispone de resultados y el lugar objetivo donde se pretende trasladar el estudio poseen características lo suficientemente similares como para que las estimaciones obtenidas sean, por sí mismas, consideradas buenas aproximaciones. La principal ventaja de esta aproximación es su simplicidad. Sin embargo, la desventaja es la posible inexactitud de las estimaciones, pues sólo se realizan ajustes en función al tamaño de la población considerada afectada y, en otros casos, a la diferencia de renta o poder adquisitivo entre los lugares de origen del estudio y objetivo de aplicación.



Otra alternativa es realizar la transferencia de la *función de beneficios*. Esta técnica de transferencia consiste en estimar una función de beneficios o costos que relaciona la estimación del valor de la vida estadística con características de la población objetivo como el logro educativo, ingreso per-cápita, riesgo de fatalidad, etc. Con la ecuación estimada, se aproxima el estimador buscado para el lugar objetivo, utilizando la función de beneficio del lugar de origen del estudio (*study site*) y ajustándola utilizando los nuevos valores de las variables explicativas del lugar al cual se va a aplicar la transferencia (*policy site*). Para este propósito, es necesario que el investigador disponga de datos de primera mano con el objetivo de minimizar los sesgos asociados a los errores de medida de las variables.

4.2.5. Consideraciones para la realización de la Transferencia de Valores

Esta sección analiza esquemáticamente los requerimientos generales para realizar una transferencia de valores y los diferentes procedimientos que pueden ser aplicados, siempre desde un punto de vista empírico. En la literatura, existe cierto consenso acerca de los criterios para seleccionar estudios de origen, los cuales se citan a continuación:

- Los estudios deben ser de máxima calidad (datos adecuados y fundamentados en la teoría económica y el análisis estadístico).

- Los estudios deben contener funciones de disposición a pagar³² (*DAP*), es decir, regresiones mostrando cómo la *DAP* varía con cambios en las variables explicativas.
- Se debe buscar maximizar la similitud geográfica y poblacional entre el lugar de origen del estudio y el de destino.
- El cambio en el bien valorado en los dos lugares, origen y destino, debe ser lo más parecido posible y deben respetarse las medidas de cambio en el bienestar, es decir, las *DAP* no deben interpretarse como disposición a aceptar compensación alguna o viceversa.
- El sistema de derechos de propiedad también debe ser similar para los dos lugares.

En relación a los procedimientos de transferencia, existen tres alternativas:

Transferencia de la DAP media de un estudio al contexto objetivo.

El procedimiento más elemental consiste en utilizar un estimador de la *DAP* de un contexto *i* (el lugar de estudio o *study site*) y aplicarlo al contexto *j* (el lugar de aplicación de la política o *policy site*). Este estimador puede además ajustarse, aunque la transferencia de valores sin ajustar constituye la práctica más habitual. La necesidad de realizar ajustes se debe a que es

³². La disposición a pagar (*DAP*) es la máxima cantidad del ingreso disponible que una persona pagaría por mantener medidas preventivas para reducir el riesgo de fatalidad.

posible encontrar entre el lugar del estudio fuente y el lugar de aplicación diferencias en:

- Las características socio-económicas de las poblaciones relevantes.
- En las características físicas de los dos lugares.
- En el cambio propuesto.
- En las condiciones de mercado (por ejemplo, la disponibilidad o no de bienes sustitutos).

Sólo en el caso que los lugares, origen y destino, sean muy similares en estas características resulta recomendable realizar una transferencia de valor medio no ajustada. La alternativa es realizar ajustes teniendo en cuenta las diferencias mencionadas. La fórmula más utilizada es la transferencia de valores unitarios propuesta por Heintz y Tol (1996):

$$V_t^T = V_o^F \left(\frac{PIBp_o^T}{PIBp_o^F} \right) * \left(\frac{IPC_t}{IPC_o} \right) * E_t \quad (4.4)$$

donde:

V_t^T Valor de la vida estadística (*VVS*) en moneda local para el lugar de aplicación de la transferencia de valores (*policy site*) en la fecha “t”.

V_o^F	Valor de la vida estadística en el período (t=0) en el que se realizó el estudio fuente (<i>study site</i>) en la moneda que se utilizó para valorar el <i>VVS</i> .
$PIBp_o^T$	Ingreso per-cápita ajustado por la paridad de poder de compra para el <i>policy site</i> en el período en que se realizó el estudio fuente (t=0) denominado en la moneda que se utilizó para determinar el <i>VVS</i> .
$PIBp_o^F$	Ingreso per-cápita ajustado por la paridad de poder de compra para el <i>study site</i> en el período en que se realizó el estudio fuente denominado en la moneda que se utilizó para estimar el <i>VVS</i> .
IPC_t	Índice de Precios al Consumidor para el periodo “t” en la moneda que se utilizó para estimar el <i>VVS</i> .
IPC_o	Índice de Precios al Consumidor para el periodo de realización del estudio fuente (t=0) en la moneda que se utilizó para valorar el <i>VVS</i> .
E_t	Tipo de Cambio en el periodo “t” entre la moneda local y la divisa que se utilizó para estimar el <i>VVS</i> en el estudio fuente.
e	Elasticidad-Renta del valor de la vida estadística.

La práctica más habitual ha consistido en realizar ajustes por diferencias de renta entre países, debido a que la renta es uno de los factores más relevantes para explicar los cambios en la *DAP*. No obstante, es posible realizar ajustes por otros factores como diferencias en la estructura de edades de la población, en la densidad de la población, etc. La realización de múltiples ajustes de este tipo conduce al segundo procedimiento de transferencia, basado en la utilización de las funciones de valor.



Transferencia de funciones de valor

Una aproximación un poco más compleja consiste en transferir la función de valor de i a j . Así podemos especificar la DAP en el contexto i como:

$$DAP_i = f(A_i, B_i, C_i, Y_i) = \alpha_i + \beta_i A_i + \delta_i B_i + \lambda_i C_i + \gamma_i Y_i + \varepsilon_i \quad (4.5)$$

donde A, B, C e Y son factores que afectan a la DAP en el lugar i ; $\alpha, \beta, \delta, \lambda$ e γ son los coeficientes estimados, y ε es el error de estimación. La DAP para j puede estimarse utilizando los coeficientes de esta ecuación pero aplicados a los valores de A, B, C e Y en j , pues suponemos que estos difieren entre ambos lugares. Es decir,

$$DAP_j = f(A_j, B_j, C_j, Y_j) = \alpha_i + \beta_i A_j + \delta_i B_j + \lambda_i C_j + \gamma_i Y_j + \varepsilon_i + \varepsilon_j^i \quad (4.6)$$

Donde ε_j^i es el error asociado a la transferencia de i a j . Se observa que la transferencia “hereda” el error asociado a la estimación en i y además incorpora un nuevo error asociado al proceso de transferencia o error de transferencia. Por ello, la transferencia siempre se considera un procedimiento más inexacto que la realización de estudios de valoración originales. Esta aproximación requiere la disponibilidad de una adecuada función de valor en el estudio original. El supuesto subyacente es que los coeficientes estimados se aproximan a aquellos que obtendríamos si se diseñara y aplicara un estudio original, es decir, que el impacto de cambios



en las variables explicativas en la disposición al pago sería el mismo en el contexto de origen que en el contexto de destino.

Transferencia de la función de beneficios mediante meta-análisis

El meta-análisis consiste en construir una función de valor para ser aplicada en la transferencia pero, en lugar de proceder de un único estudio, procede de un conjunto de estudios. El interés por este método ha ido creciendo en los últimos años y se considera el más recomendable pues es el que menor error de transferencia conlleva.

El meta-análisis es un procedimiento estadístico que intenta resumir los resultados procedentes de diferentes estudios en una única función de valor que se utiliza posteriormente para la transferencia de valores. Existen varios procedimientos para realizar meta-análisis, entre los que destaca la aplicación de los modelos de datos de panel. Entre aquellos tenemos: el modelo de efectos fijos, el modelo de efectos aleatorios y el modelo bayesiano. El modelo de efectos fijos es el más simple y resume un conjunto de estimadores utilizando un conjunto de ponderaciones. Supóngase, por ejemplo, que tenemos un conjunto de estudios que estiman la *DAP* para reducir el riesgo de ocurrencia de eventos adversos. A partir de los datos cada estudio *i* se especifica la siguiente función de valor:

$$DAP_i = \alpha_i + \beta_i x_i + \varepsilon_i \quad (4.7)$$

donde α varía entre los i estudios, X es una matriz que incluye a las variables explicativas de la *DAP*, pero también *dummies* (variables binarias) que reflejan características de la metodología aplicada o del contexto (en el caso de la valoración contingente: el medio de pago utilizado, las características de la población como nivel educativo, etcétera). Después de controlar, por diferencias observables, lo que se obtiene es un conjunto de constantes estudio-específicas α que capturan las diferencias no observadas. Así, para construir una función de transferencia, el procedimiento habitual es calcular una constante única como el valor medio de las constantes de efectos fijos, ponderada por el número de observaciones de cada estudio.

5. Estimación del Valor de la Vida Estadística (VVS) para el caso peruano

5.1. Breve revisión de la literatura sobre la estimación del VVS

A nivel internacional, se han realizado una gran cantidad de investigaciones sobre la estimación del VVS. No obstante, se ha identificado un marcado sesgo de la literatura hacia la realización de estudios para países desarrollados (principalmente Estados Unidos), los cuales han demandado en la mayoría de los casos la ejecución de encuestas sobre condiciones de riesgo en los centros laborales. Leggett, Neumann y Penumalli (2001) lograron identificar alrededor de 100 estudios empíricos sobre la estimación de la disposición a pagar por reducciones en el riesgo de fatalidad.

El tipo de estudio más común en esta literatura es el que analiza la disyuntiva (*trade-off*) entre salarios y riesgo de accidentes en los mercados

laborales mediante la metodología de salarios hedónicos. Una porción reducida de estos estudios han utilizado las técnicas de valoración contingente. El resto de estudios constituyen una colección diversa de estudios de mercado en los cuales los investigadores analizan los mercados donde los consumidores tienen la oportunidad de pagar por reducciones en el riesgo de fatalidad (tales como el mercado de automóviles). Las estimaciones del *VVS* por esta literatura varían entre US\$ 0.1 millones y US\$ 53.1.

Los trabajos de revisión sobre el *VVS* son de dos tipos. El primer tipo, los estudios de revisión narrativos, involucra una discusión completa y una síntesis de las tendencias, los argumentos planteados y los problemas dentro de la literatura. Estos trabajos narrativos son de naturaleza cualitativa pero pueden incluir estadísticos descriptivos sobre el *VVS*. Ejemplos de este tipo de investigaciones son los trabajos de Fisher, Chestnut y Violette (1989)³³, Miller (1990)³⁴ y Viscusi (1993). Este último autor discute comprensivamente los desafíos metodológicos que se enfrentan cuando se desea llevar a cabo estudios de salarios hedónicos, valoración contingente y estudios de mercado.

Lo valioso de este trabajo es que presenta un resumen estadístico de 37 estudios diferentes que incluye el estimador del *VVS*, el valor medio de los ingresos y la tasa de riesgo relativo media para cada estudio. El autor

³³. Fisher, A., G. Chestnut y D. Violette (1989). "The value of reducing risk of death: A note on new evidence". *Journal of Law and Economics*. 38: 79-105.

³⁴. Millar, T. (1990). "The plausible range for the Value of Life – Red Herrings among the Mackerel". *Journal of Forensic Economics*. 3: 17-39.

concluye que la mayoría de las estimaciones razonables se encuentran concentradas en el rango de US\$ 4.0 y US\$ 9.4 millones.

El segundo tipo, los estudios de meta-análisis, incluye tanto una discusión narrativa sobre la literatura como un análisis estadístico sobre el *VVS*, lo cual implica típicamente un análisis de regresión donde el *VVS* es la variable dependiente y las variables explicativas del *VVS* describen características de la población objetivo y los aspectos relevantes del diseño del estudio. Las investigaciones sobre el *VVS* han tendido naturalmente a adoptar el enfoque de meta-análisis. La creencia entre los investigadores es que un meta-análisis bien diseñado permite realizar un proceso de revisión de la literatura más objetivo y formal que las revisiones cualitativas tradicionales. Viscusi y Aldy (2003) realizan una revisión comprensiva sobre esta literatura, presentando un resumen estadístico de alrededor de 60 estudios a nivel internacional (que incluye Estados Unidos, algunos países de la Comunidad Europea, Australia y la India).

En contraste, existen escasos estudios sobre el particular para países en vías de desarrollo. Por ejemplo, de los trabajos a los cuales se ha podido tener acceso destaca el de Bowland y Beghin (2001), los cuales realizan un estudio de meta-análisis sobre el *VVS* en países desarrollados para estimar una función de transferencia que permite obtener un estimador del *VVS* controlando por las diferencias en los niveles de riesgo de fatalidad, ingresos, nivel de capital humano y otras características sociodemográficas de estos países. Una vez estimado el modelo, los autores evaluaron la disposición a pagar por reducciones del riesgo de mortalidad asociado a la

polución del aire en Santiago de Chile, encontrando que el valor en dólares constantes de 1992 ajustado por la paridad de poder de compra se encuentra en el rango de \$519,000 a \$675,000 por vida estadística.

Por otro lado, Hammit e Ibararán (2004) estimaron el valor de la vida estadística en la zona metropolitana de la ciudad de México utilizando la metodología de salarios hedónicos. El estudio demandó el levantamiento de 600 encuestas en la modalidad de entrevista directa dentro del área urbana. El rango de valores estimado fue de \$230,000 a \$320,000.

El marcado sesgo por la realización de estudios sobre la estimación del VVS en países desarrollados se puede explicar por los siguientes factores:

a) la existencia de estadísticas laborales apropiadas en los países desarrollados para la aplicación de las metodologías descritas en la sección anterior; b) el interés de los grandes sindicatos que existen en estos países por conocer el VVS para utilizar esa información en los procesos judiciales contra las empresas que no cumplen con las normas de seguridad; y c) el interés de los países desarrollados por cuantificar estos valores para determinar los montos de las indemnizaciones ante la ocurrencia de accidentes o catástrofes.

Debido a las restricciones de información y las limitaciones para realizar un estudio fuente, en este documento se opta por el uso de la metodología de transferencia de la función de valores o meta-análisis que, como ya se había mencionado en la sección anterior, consiste en adaptar resultados de estudios existentes para otros países con el objeto de estimar el VVS para el

caso peruano sin la necesidad de definir y llevar a cabo un nuevo estudio de valoración, reduciendo de esta manera costos en términos de tiempo, recursos económicos y humanos. Esta metodología ha cobrado importancia en los últimos años debido a que se considera que es la que menor error de transferencia conlleva.

5.1. Metodología del Meta-Análisis

Como se discutió en la Sección 4.2.5, la metodología parte de la construcción de una función de transferencia que permite estimar el *VVS* para el caso peruano (*policy site*) a partir de la utilización de los datos para un conjunto de estudios internacionales. La función propuesta es la siguiente:

$$VVS_i = X_i' \beta + v_i \quad (5.1)$$

donde X es una matriz que incluye usualmente las variables explicativas que tienen efecto sobre el *VVS*. Estas variables son: el ingreso per-cápita de los países, el nivel de alcance educativo, el indicador de riesgo de fatalidad y variables ficticias que reflejan el tipo de estudio utilizado (de valoración contingente o no) y si en el país se otorgan compensaciones a los afectados por los accidentes.

El problema que surge cuando se estiman los parámetros de la ecuación (5.1) utilizando técnicas estándares (como Mínimos Cuadrados Ordinarios) es que no se controla por la existencia de potenciales sesgos que pueden

generarse por utilizar estudios provenientes en su mayoría de países desarrollados. En decir, no se controla el sesgo de selección que se produce cuando los estudios no son escogidos de manera aleatoria. En la siguiente sección se discutirá en detalle este problema.

5.2. El Modelo Econométrico y el problema del Sesgo de Selección

De acuerdo a la literatura revisada en este documento, la probabilidad de que los estudios existentes que estiman el *VVS* correspondan a países con altos niveles de PBI es alta, con lo cual el proceso de selección de estos estudios se ve restringido por su procedencia provocando un tipo de sesgo de selección muestral. Este sesgo se produce en general por el hecho que existen factores no observables por el investigador que determinan la selección de la muestra de estudios. Ello determina que exista un mecanismo de selección muestral implícito que no es observable pero que influye en la ecuación que relaciona el *VVS* con sus determinantes.

En este contexto, el modelo puede ser planteado como uno de elección discreto/continuo, el cual puede representarse mediante las siguientes ecuaciones:

$$z_i^* = \kappa^* pbip_i + u_i, \quad z_i = 1 \text{ si } z_i^* > 0 \text{ y } 0 \text{ en otro caso} \quad (5.2)$$

$$vvs_i = X_i' \beta + v_i, \quad vvs_i \text{ será observado sólo si } z_i = 1 \quad (5.3)$$

La primera ecuación representa el mecanismo de selección de la muestra por el cual vvs_i es observado si y sólo si $z_i^* > 0$. Tomando en consideración las observaciones realizadas en la literatura, se asume que la disponibilidad de un estudio de valoración del VVS en el país “i” dependerá de manera positiva de su nivel de ingreso per-cápita ($pbip_i$). Implícitamente la ecuación (5.2) define un proceso de selección discreta, el cual se puede representar mediante la variable z que adopta un valor igual a uno siempre y cuando $z_i^* > 0$ (lo cual indica que el país “i” presenta un estudio de valoración) mientras que si $z_i^* \leq 0$ la variable z adopta el valor de cero (lo cual indica que no existe un estudio de estimación del VVS para el país “i”).

La segunda ecuación modela la relación de interés entre el VVS y ciertas variables explicativas tales como el nivel de educación, nivel de ingreso per-cápita, etc. Las variables se presentan en logaritmos.

Supóngase también que los errores de la ecuación de selección de la función de transferencia del VVS se distribuyen conjuntamente de forma normal con media cero y una correlación ρ tal que $(u_i, v_i) \sim N(0, 0, 1, \sigma_v, \rho)$. Esto implica que la regla de selección de la muestra no es independiente de la ecuación que modela el VVS ya que los errores de ambas ecuaciones no son independientes.

Ello hace que el valor esperado de la ecuación (5.3) sea como sigue³⁵:

$$\begin{aligned}
 E[vvs_i | vvs_i \text{ es observada}] &= E[vvs_i | z_i^* > 0] \\
 &= E[vvs_i | u_i > -\alpha pbip_i] \\
 &= x_i' \beta + E[v_i | u_i > -\alpha pbip_i] \\
 &= x_i' \beta + \rho \sigma_v \psi_i(\gamma_u) \\
 &= x_i' \beta + \beta_\psi \psi_i(\gamma_u)
 \end{aligned}$$

donde $\gamma_u = \frac{-\alpha pbip_i}{\sigma_u}$, $\psi_i(\gamma_u) = \frac{\phi(-\alpha pbip_i / \sigma_u)}{\Phi(-\alpha pbip_i / \sigma_u)}$.

De esta manera, se tiene que:

$$\begin{aligned}
 vvs_i | z_i^* > 0 &= E[vvs_i | z_i^* > 0] + \varepsilon_i \\
 vvs_i | z_i^* > 0 &= x_i' \beta + \beta_\psi \psi_i(\gamma_u) + \varepsilon_i \quad (5.4)
 \end{aligned}$$

La ecuación (5.4) recoge el efecto del proceso de selección discreta de los estudios de valoración al incluir el factor de corrección $\beta_\psi \psi_i(\gamma_u)$. Como

³⁵. De acuerdo a Greene (2002), se puede demostrar que el valor medio de la función distribución normal bivariada truncada incidentalmente de las variables x e y con media μ_x y μ_y , desviación estándar σ_x y σ_y , y correlación ρ es:

$$E[x | y > a] = \mu_x + \rho \sigma_x \lambda(\alpha_y)$$

donde $\alpha_y = (a - \mu_y) / \sigma_y$ y $\lambda(\alpha_y) = \phi(\alpha_y) / [1 - \Phi(\alpha_y)]$, siendo Φ y ϕ las funciones de distribución y densidad normal estándar. La aplicación de este teorema permite obtener la forma reducida del modelo.

puede notarse, el problema de sesgo de selección puede ser reinterpretado como un problema de variables omitidas resultante de la no aleatoriedad al momento de elegir los estudios de estimación del *VVS*.

La inclusión de un factor de corrección relevante (variable omitida) en la ecuación (5.3) puede eliminar el sesgo de selección, permitiendo obtener estimadores apropiados para realizar una adecuada transferencia de valores. Por ello, no es conveniente aplicar un método como mínimos cuadrados ordinarios para estimar la ecuación (5.3) puesto que se obtendrían estimadores sesgados que viciarían los resultados de la transferencia del *VVS*.

Los parámetros de la ecuación (5.4) pueden ser estimados utilizando el procedimiento de estimación en dos etapas propuesto por Heckman (1979). La metodología consiste en estimar en la primera etapa un modelo *Probit* que permite calcular el ratio inverso de Mills (ψ_i), el cual es una función monótonamente decreciente de la probabilidad de que una observación sea seleccionada en la muestra. El modelo *Probit* se define como sigue:

$$\Pr(z_i = 1 | pbip_i) = \Phi(\alpha pbip_i) \quad (5.5)$$

La estimación de este modelo nos permite calcular el ratio inverso de Mills:

$$\Psi_i = \frac{\phi(\hat{\alpha} pbip_i)}{\Phi(\hat{\alpha} pbip_i)} \quad (5.6)$$

En la segunda etapa se estima una regresión condicional, la cual tiene como variables explicativas a las variables independientes anteriormente descritas y al ratio inverso de Mills calculado en la etapa previa. Con este procedimiento es posible obtener resultados en los que se controla el sesgo de selección. Así, la función de transferencia corregida es la siguiente:

$$VVS_i|_{(z_i=1, x_i, pbip_i)} = X_i' \beta + \beta_\psi \psi_i(\hat{\alpha} pbip_i) + v_i \quad (5.7)$$

El VVS para Perú se calculará a partir de la predicción lineal de la ecuación (5.7) reemplazando los valores de las variables explicativas para el Perú:

$$E \left[vvs_{Perú} \mid x_{Perú}, pbip_{Perú} \right] = X'_{Perú} \hat{\beta} + \hat{\beta}_\psi \psi(\hat{\alpha} pbip_{Perú}) \quad (5.8)$$

5.3. Base de Datos

La base de datos para la estimación de la ecuación (5.7) ha sido elaborada a partir de diferentes fuentes nacionales e internacionales. Las variables a considerarse en el modelo son las siguientes:

³⁶. $\phi(\bullet)$ y $\Phi(\bullet)$ es la función de densidad y distribución normal estándar respectivamente.

- La tasa de incidentes fatales (*RIESGO*) en los puestos de trabajo para el Perú, representada por la variable RIESGO, ha sido tomada de las estadísticas de la OIT. Para el resto de países donde se han realizado estudios de valoración, la tasa utilizada es la reportada por Viscusi y Aldi (2003). Esta variable cuantifica el número de muertes ocupacionales por cada 100,000 personas.
- El ingreso per-cápita (*INGRESO*) para Perú y el resto de países ha sido tomado del *Penn World Table* Versión 6.1 del Centro de Comparaciones de la Universidad de Pennsylvania (CICUP-2002). Esta variable es expresada en US\$ del año 2000 (en términos de paridad de poder de compra).
- La variable *EDU* representa los años de educación que la población cursa en promedio y ha sido tomada de las estadísticas de la OECD para el año 1999. Es un indicador del logro educativo de las personas en promedio.
- La variable *VVS* ha sido construida en base a la información recopilada por Viscusi y Aldy (2003) y Viscusi (1993) sobre las distintas estimaciones del *VVS* realizadas por distintos estudios a nivel internacional. Esta variable se mide en US\$ del año 2000.
- Para obtener la variable tipo de estudio *CV* (si es uno de valoración contingente, de salarios hedónicos, etc), se recurre al estudio realizado para la *US. Environmental Protection Agency* por Kochi,

Hubell, y Kramer (2001). El indicador de si se recibe o no alguna compensación económica luego del accidente (COMP) ha sido tomado del estudio de Viscusi y Aldi (2003). Ambas variables son de carácter dicotómico (valores de uno y cero en caso se cumpla o no la condición).

5.4. Estimación y Resultados

Antes de realizar la estimación del modelo representado por la ecuación 5.7, es necesario evaluar su especificación funcional. Para ello, se realiza la prueba de Box-Cox³⁷, la cual permite evaluar diversas especificaciones funcionales de la ecuación de regresión. Los resultados de esta prueba son expuestos en el Cuadro N° 5.1.

La prueba de Razón de Verosimilitud señala que al 95% de confianza la mejor especificación estadística es la función logarítmica, la cual relaciona log-linealmente los valores del *VVS* con el nivel de educación, el ingreso per-cápita, el riesgo, y variables ficticias que expresan si el estudio es de

³⁷. La transformación Box-Cox de una variable y es como sigue:

$$y^{(\lambda)} = \frac{y^\lambda - 1}{\lambda}$$

Dependiendo del valor de λ , la variable y puede adoptar diferentes especificaciones. En este sentido, la prueba de Box-Cox realiza un contraste de razón de verosimilitud sobre el valor de λ que evalúa si un conjunto determinado de variables se ajusta o no a alguno de las tres tipos de especificación funcional: lineal $y=a_0+a_1x$ ($\lambda = 1$), logaritmo-lineal $\ln(y)=b_0+b_1\ln(x)$ ($\lambda = 0$) y recíproca $y=c_0+c_1(1/x)$ ($\lambda = -1$). El artículo que discutió esta prueba fue Box, G. y D. Cox (1964). "An Analysis of transformations with discussion": Journal of the Royal Statistical Society, 26: 211-252.

valoración contingente y si se recibe algún tipo de compensación luego del accidente³⁸. Además, el “Riesgo” mantiene una relación cuadrática respecto al *VVS* debido a su vínculo no lineal observado por Viscusi y Aldy (2003).

Cuadro N°. 5.1
Prueba de Box-Cox para evaluar la especificación
de la función de transferencia del *VVS*

VVE	Parámetro	Error Estándar	z-estadístico	p-value
Lambda	0.201	0.128	1.57	0.116

Prueba de Forma Funcional Box-Cox			
Hipótesis	χ^2	p-value	
Lambda = -1	79.38	0.00	
Lambda = 0	3.550	0.06	
Lambda = 1	33.86	0.00	

$$\log(VSL) = \beta_1 + \beta_2 \log(\text{Edu}) + \beta_3 \log(\text{Ingreso}) + \beta_3 \log(\text{Riesgo}) + \beta_4 \log(\text{Riesgo})^2 + \beta_5 CV + \beta_6 COMP + \beta_2 InvMills + \varepsilon$$

Elaboración: Oficina de Estudios Económicos – OSINERG.

Una vez validada la especificación log-lineal de la función de transferencia, se procede a estimar el modelo utilizando la metodología en dos etapas propuesta por Heckman (1979). Los resultados de la estimación del *VVS* se presentan en el Cuadro N° 5.2.

³⁸. Por otro lado, la prueba de significancia individual de λ arroja que es estadísticamente igual a cero al 95% de confianza, lo cual corrobora el resultado de la prueba de razón de verosimilitud.

Cuadro N° 5.2
Estimación del VVS

Primera Etapa (Ecuación de Selección Muestral PROBIT)						
Variables	Parámetros	Error Estándar	z-est	p-value	[95% Intervalo Confianza]	
Ln (PBIP)	1.007	0.2535	3.97 ***	0.000	0.510	1.504
Constante	-10.488	2.3927	-4.38 ***	0.000	-15.177	-5.798
McFadden R2	0.308			R2-Adj	0.262	
Segunda Etapa (Función de Transferencia)						
Variables	Parámetros	Error Estándar	t-est	p-value	[95% Intervalo Confianza]	
Ln(EDU)	1.770	1.447	1.220	0.23	-1.129	4.669
Ln(INGRESO)	1.883	0.944	1.990 **	0.05	-0.008	3.775
Ln(RIESGO)	0.536	0.372	1.440	0.16	-0.209	1.281
Ln(RIESGO) ²	-0.286	0.091	-3.130 ***	0.00	-0.469	-0.103
CV	-0.352	0.200	-1.760 *	0.08	-0.753	0.049
COM	-0.397	0.358	-1.110	0.27	-1.114	0.320
Inv (Mills)	2.938	1.104	2.660 ***	0.01	0.726	5.150
Constante	-11.825	10.851	-1.090	0.28	-33.562	9.912
R2	0.267	AIC	172.271	Ramset-Reset F(3,53)	2.020	p-value = 0.12
R2-Adj	0.175	BIC	189.542	White χ^2 (25)	19.986	p-value = 0.33
F (6, 57) ***	18.650			Jarque-Bera γ^2 (2)	1.857	p-value = 0.39

* La estimación se ha realizado utilizando la matriz de corrección de White.
Elaboración: Oficina de Estudios Económicos – OSINERG.

La ecuación (5.7) en su versión log-lineal incorpora el ratio inverso de Mills como el factor de corrección por sesgo de selección. Los resultados de la estimación permiten observar que el ratio inverso de Mills resulta significativo (p -value = 0.01), lo cual señala que la corrección por sesgo de selección es apropiada.

La Prueba F³⁹ que analiza la significancia conjunta del modelo resulta significativa, lo cual indica que las variables son significativas en conjunto para explicar el *VVS*. El valor del R^2 no es despreciable y es muy similar a los resultados de las regresiones estimadas por Viscusi y Aldy (2003) para la economía estadounidense. Adicionalmente, las pruebas de Jaque-Bera, Ramsey Reset y White sugieren que el modelo se encuentra razonablemente bien especificado. Una vez estimada la función de transferencia, los valores de las variables para la realidad peruana son reemplazados en la función log-lineal, con el propósito de transferir los valores para el contexto peruano.

Cuadro N° 5.3
Transferencia de la Función del *VVS* para Perú

Variables	Ln(Edu)	Ln(Ingreso)	Ln(Riesgo)	Ln(Riesgo) ²	CV	COM	Inv (Mills)	Constante
Parámetros	1.770	1.883	0.536	-0.286	-0.352	-0.397	2.938	-11.825
Valores (Perú)	8	4500	19	--	1	1	2.401	1
Ln (Valores)	2.079	8.412	2.944	8.670	1	1	7.054	1
Ln (Xb)	3.681	15.842	1.577	-2.479	-0.352	-0.397	7.054	-11.825

Elaboración: Oficina de Estudios Económicos – OSINERG.

El valor del *VVS* que se obtiene a partir de los datos expuestos en el cuadro anterior es calculado en términos logarítmicos. Por ello, es necesario convertir este valor a moneda local. Los resultados de la conversión se presentan en el Cuadro N° 5.4.

³⁹. La prueba F-estadística analiza la hipótesis nula de que todos los coeficientes de la regresión son iguales a cero.

Cuadro N° 5.4
Estimación del valor del VVS

Valor de la Vida Estadística (VVS)	Estimación	[90% Intervalo Confianza] *	
Ln (VSL)	13.101	12.177	14.025
VVS (US\$ 2000)	489,403	194,258	1,232,977
VVS (US\$ 2005)	557,920	221,454	1,405,593
VVS Perú (S/. 2005)	1,841,135	730,798	4,638,458

Elaboración: Oficina de Estudios Económicos – OSINERG.

Así, el valor del *VVS* para el Perú se estima en 1.84 millones de soles del 2005. Las cotas superior e inferior del intervalo de confianza al 90% equivalen a 2.51 y 0.39 veces el valor de la vida estadística estimada para el Perú. Este resultado empírico es consistente con los resultados reportados por Viscusi y Aldi (2003). Se reconocen que en este tipo de estudios las cotas inferiores y superiores de los intervalos de confianza del valor medio de la vida estadística bordean el 40% y el 300%, dependiendo de la especificación del modelo⁴⁰.

En el Cuadro N° 5.5 se presenta una comparación de los resultados obtenidos en esta investigación con los hallazgos de estudios internacionales de estimación el valor de la vida estadística.

⁴⁰. Los residuos del modelo estimado en este documento poseen una distribución con asimetría negativa, lo cual significa que los valores con frecuencias altas se ubican a la derecha del valor medio. Ello puede provocar que el límite superior del intervalo de confianza supere en 2.51 veces al valor medio del vida estadística estimado para el Perú.



Cuadro N° 5.5
Comparación de los Resultados de la Estimación del Valor de la Vida Estadística a nivel internacional

País	Valor de VVS (millones de soles del 2005)	Metodología empleada	Fuente
Perú	1.84	Transferencia de Valores	Oficina de Estudios Económicos - OSINERG
Chile	2.38 - 3.10	Transferencia de Valores	Bradley, Bowland y Beghin (2001)
México	0.78 - 1.09	Enfoque de Salarios Hedónicos	Hammit y Ibararán (2004)
India	4.47 - 5.59	Enfoque de Salarios Hedónicos	Shanmugan (1996)
India	15.29	Enfoque de Salarios Hedónicos	Shanmugan (2001)
Taiwan	0.75 - 3.36	Enfoque de Salarios Hedónicos	Liu, Hammit y Liu (1997)
Corea del Sur	2.98	Enfoque de Salarios Hedónicos	Kim y Fishback (1993)
Hong Kong	6.34	Enfoque de Salarios Hedónicos	Siebert y Wei (1998)
Canadá	19.02 - 19.76	Enfoque de Salarios Hedónicos	Meng y Smith (1999)
Canadá	7.99	Valuación Contingente	Krupnick (2000)
Nueva Zelanda	6.17	Valuación Contingente	Miller y Guria (1991)
Estados Unidos	19.76	Enfoque de Salarios Hedónicos	Viscusi (1978a, 1979)
Estados Unidos	11.19 - 38.41	Enfoque de Salarios Hedónicos	Moore y Viscusi (1988)
Estados Unidos	77.56	Enfoque de Salarios Hedónicos	Moore y Viscusi (1990)
Estados Unidos	49.60	Enfoque de Salarios Hedónicos	Leigh (1987)
Estados Unidos	14.16	Valuación Contingente	Corso, Hammit y Graham (2000)
Gran Bretaña	6.17	Valuación Contingente	Carthy (1999)
Gran Bretaña	19.60	Valuación Contingente	Jones-Lee (1989)

Fuente: Viscusi y Aldi (2003). Elaboración: Oficina de Estudios Económicos – OSINERG.



5.5. Aplicación a la Fiscalización del Sector Hidrocarburos en el Perú



El *VVS* estimado para el Perú mediante la aplicación de la metodología de Transferencia de Valores asciende aproximadamente a S/. 1.84 millones. Con este valor, es posible construir una tabla programada de factores de agravación mediante la graduación del *VVS* tomando en cuenta el grado de afectación a la salud humana que puede utilizarse para calcular multas *ex post* utilizando la fórmula (3.12).

A manera de ilustración, se muestra cómo es que se podría construir una tabla de multas programadas para graduar el valor del factor G de la ecuación (3.12). Se puede construir la tabla programada asumiendo que un impacto leve afecta en 10% la salud, que un impacto moderado afecta en un



50% y que impactos graves (que implica la pérdida de la vida de la persona afectada) afectan en un 100%. Estos valores deben multiplicarse por un valor δ pequeño (por ejemplo, entre 0% y 10%) por las siguientes razones:

- La descomposición de la fórmula (3.6) en los factores B , G y A determina que sólo una pequeña fracción del valor de la vida estadística se incorpore en la multa administrativa. Esta fracción está asociada sólo al daño provocado por factores no controlables por la empresa (θ) y no a los factores controlables por aquella y al componente de error. El porcentaje a aplicar para obtener el factor de agravación G depende de los parámetros ω (que es un parámetro de ajuste tal que $\omega < 1$) y α (que es la proporción de la vida estadística perdida asociada a factores no controlables por la empresa tal que $\alpha < 1$). La fórmula (3.12) señala que $\delta = \omega\alpha$, por lo que se espera que este parámetro sea muy pequeño.
- Debido a que un Organismo Supervisor sólo cuenta con facultades administrativas, legalmente no sería posible cargar todo el valor de la vida estadística como factor de agravación de las multas por accidentes dado que los afectados pueden reclamar una indemnización por daños y perjuicios a la empresa infractora mediante un proceso civil en el Poder Judicial.

Debido a que no se dispone de datos para realizar una estimación econométrica de este parámetro, no es posible calcular este coeficiente de manera estadística. Sin embargo, es posible asignar un parámetro en

función de si se desea ser muy disuasivo o poco disuasivo. El Organismo Supervisor tiene la potestad de imponer un valor alto si desea penalizar en mayor grado aquellas infracciones que provocan accidentes severos o fatales para la vida de las personas en el sector hidrocarburos.

A modo de ejemplo, supóngase que el Organismo Supervisor establece un factor δ del 3.5%. Teniendo en consideración la fórmula (3.12), los factores G que se deberían imponer según la gravedad de los incidentes y la cantidad de personas afectadas en este escenario hipotético se presentan en el Cuadro N° 5.6.

6. Aplicación de la metodología de cálculo de sanciones a la Fiscalización del Sector Hidrocarburos del Perú

Para una mejor comprensión de la aplicación de la metodología de cálculo de multas por accidentes, se presenta y discute un caso práctico. Se plantea un escenario hipotético en el cual se establece que dos personas mueren producto de un accidente (fuga de hidrocarburos en una estación de bombeo) durante la operación de transporte de petróleo en un oleoducto ubicado en la selva norte del país debido al incumplimiento de la empresa transportista de proveer las medidas de seguridad pertinentes para sus trabajadores. El accidente ocurrió en Diciembre del 2005.

Cuadro N° 5.6⁴¹
Factor de agravación de las multas según la gravedad del accidente y el número de afectados

Tipo de Accidente	Porcentaje	Delta	Número de Afectados	Valor Medio del Rango	Factor G (UIT)
Leve	10%	3.5%	1-2	1.5	3
			3-5	4	8
			6-10	8	15
			>10	31	59
Moderado	50%	3.5%	1-2	1.5	14
			3-5	4	38
			6-10	8	76
			>10	31	294
Fatal	100%	3.5%	1-2	1.5	28
			3-5	4	76
			6-10	8	152
			>10	31	588

El valor de la UIT para el año 2005 fue de S/ 3,400.
 Elaboración: Oficina de Estudios Económicos – OSINERG.

Se ha planteado en secciones anteriores que la ecuación para el cálculo de una multa ex-post tiene la siguiente forma:

$$M^* = B + \delta \sum_{i=1}^N VVS \pm A$$

que es posible redefinirla de forma multiplicativa de la siguiente manera:

$$Multa = (B + G) * \left(1 + \frac{\sum F_1 + \dots + F_i}{100} \right) \quad (6.1)$$

⁴¹. Los factores de agravación estimados corresponden al número promedio de personas afectadas en cada rango. En el caso del último rango se considera la cota máxima de 50 personas como el caso más grave.

donde G es el factor de agravación de la sanción que se establece en el Cuadro N° 5.6 por accidentes leves, moderados o fatales para la vida humana y F_1, \dots, F_i son los agravantes y atenuantes de la sanción administrativa asociados a la conducta procesal de la empresa⁴².

La investigación realizada por los supervisores del Organismo Supervisor determinó que la empresa infringió una disposición del reglamento de seguridad de las actividades de la industria de hidrocarburos. Los supervisores determinaron que esta infracción implicó que la empresa no invirtiera en el mantenimiento de un sistema de compresión para aumentar la presión del crudo en una de las estaciones de bombeo del oleoducto.

El costo de mantenimiento de este equipo ascendía, según los expertos, a US\$ 45,000. Adicionalmente, la investigación determinó que la empresa evitó costos al no capacitar a su personal con un curso sobre medidas de seguridad y manejo del plan de contingencias. El curso de capacitación fue valorizado en US\$ 12,000. La Gerencia de Fiscalización inició un procedimiento administrativo sancionador por esta infracción en Enero del 2006 y va a calcular la sanción en Julio del 2006, habiendo desestimado los descargos que presentó la empresa como defensa.

La información relevante para calcular el factor B de la multa *ex – post* se presenta en el siguiente cuadro:

⁴². Esta manera de plantear los agravantes y atenuantes ha sido utilizada en la Resolución N° 032-2005-OS/GG, la cual plantea los criterios específicos que tomará el OSINERG para el cálculo de multas por daños ambientales.

Cuadro N° 6.1
Información Relevante para el Cálculo del Factor *B*

Descripción	
Mantenimiento del Sistema de Bombeo	US\$ 45,000.00
Capacitación	US\$ 12,000.00

Elaboración: Oficina de Estudios Económicos – OSINERG.

Los costos evitados por esta infracción ascienden a US\$ 57,000, suma que es equivalente a S/. 193,800 con un tipo de cambio de S/. 3.4 por US\$. El cálculo del factor *B* debe realizarse considerando el costo de oportunidad privado de invertir en estas medidas de seguridad y la fecha de determinación de la sanción. El costo de oportunidad del capital (COK) de las empresas del sector hidrocarburos en el segmento *upstream* se estima en 10.56%⁴³. Para calcular el factor *B* se procede a estimar el Valor Futuro del costo evitado a la fecha de cálculo de la sanción utilizando la tasa COK. El resultado de este ejercicio se presenta en el siguiente cuadro:

Cuadro N° 6.2
Estimación del Costo Evitado

Costo Evitado (S/. 2005) Nov-2005	193,800
Total Beneficio Ilícito (S/.) (COK = 10.56%) Jul-2006	205,499

Elaboración: Oficina de Estudios Económicos – OSINERG.

⁴³. Próximamente la Oficina de Estudios Económicos estará publicando un documento de trabajo sobre la estimación del costo del capital de la industria peruana de hidrocarburos.

Los costos evitados no están sujetos a depreciación debido a que ellos están asociados a las medidas de seguridad no implementadas para garantizar la seguridad de los trabajadores y no a inversiones específicas en infraestructura para garantizar mejores condiciones de seguridad. Por lo tanto, el factor **B** asociado a la infracción (que viene a ser el beneficio ilícito que obtuvo la empresa por la infracción que ocasionó daños a las personas) se obtiene de sumar todos los gastos que la empresa no realizó para cumplir con los dispuesto en la normativa más la ganancia derivada de la inversión de los fondos en una alternativa inversión. Este monto asciende a **S/. 205,499 ó 60.44 UIT.**

El cálculo del factor **G** se realiza en base a la medición de la vida estadística (*VVS*) estimada con la metodología de Transferencia de la Función de Valor o metodología del Meta-Análisis desarrollada en las secciones anteriores. El factor de agravación para el caso citado, en el cual, dos personas pierden la vida (daño grave o fatal) correspondería a un monto equivalente a **28 UIT**, tal y como consta en el Cuadro N° 5.6.

El procedimiento para calcular el factor **A** (atenuantes y agravantes) ha sido delineado en base a los criterios planteados por la GFH-OSINERG en la Resolución N° 032-2005-OS/GG. El factor **A** puede hacer variar la multa entre -13% y 19% como máximo con respecto a su valor original. Este agravante o atenuante, según sea el caso, es añadido como factor multiplicativo a la multa base **B + G** de la siguiente manera:

$$Multa = (B + G) * \left(1 + \frac{\sum_{i=1}^{11} F_i}{100} \right)$$

donde $A = [1 + \sum F_i/100]$, y F_i son los puntajes asignados en función de la conducta que muestra la empresa durante el proceso de supervisión y fiscalización. En el Cuadro N° 6.4 se reportan los resultados de la aplicación de los agravantes y atenuantes aplicados para este caso. La tabla de atenuantes y agravantes desagregada se presenta en el Anexo N° 2.

Cuadro N° 6.4
Cálculo del Factor A

F1	Antecedentes de Incumplimiento	1
F2	Respuesta a la Emergencia	-2
F3	Grado de colaboración	0
F4	Daño o Perjuicio	1
F5	Reiterancia	0
F6	Carácter intencional o negligente	4
F7	Engaño o Encubrimiento	3
F8	Reparación del daño	-2
F9	Capacidad para afrontar los gastos	3
F10	Implementación de Sistemas de Seguridad	0
F11	Afectación a bienes ajenos a la empresa	0
Factor Final		1.08

Elaboración: Gerencia de Fiscalización en Hidrocarburos – OSINERG.

Con este resultado, es posible calcular la multa por el accidente fatal de la siguiente manera: $Multa = (60.44 + 28) * 1.08 = 95.51 UIT$.

7. Conclusiones

La supervisión y fiscalización del sector hidrocarburos en los países en desarrollo constituyen labores clave para su correcto desempeño bajo estándares de calidad y seguridad apropiados que garanticen un adecuado abastecimiento de la demanda de combustibles, con los cuales los usuarios puedan satisfacer una diversidad de necesidades. La importancia de la supervisión y fiscalización por parte del Estado de sectores como el mencionado se pone de manifiesto cuando se implementan reformas estructurales que modifican el régimen de propiedad y la gestión pública de la industria hacia formas de organización donde la participación del sector privado es relevante puesto que la supervisión y fiscalización constituyen esquemas de control del cumplimiento de las normas legales que rigen el sector por parte de los operadores privados, los cuales reemplazan las tradicionales formas de control estatal dentro de las empresas públicas.

No obstante la relevancia que tiene la supervisión del sector hidrocarburos, la experiencia en el Perú sobre este particular ha sido escasa. Sin embargo, en los últimos años, se ha puesto mayor énfasis en el control de las actividades de las empresas y en su fiscalización, obteniéndose mejoras en el cumplimiento de las normas y reglamentos que rigen el sector.

Las modificaciones realizadas al marco de la supervisión del sector responden a un nuevo enfoque de supervisión del sector energía que considera: a) el empleo de criterios científicos (que involucran a la Estadística y la Economía) para el diseño de instrumentos sancionadores



flexibles, b) el énfasis en la fiscalización por resultados, c) la elaboración de una estrategia innovadora de aplicación simultánea del esfuerzo de fiscalización y la ejecución del sistema sancionador para fortalecer las facultades sancionadoras del Organismos Supervisor, y d) la consistencia metodológica en la aplicación de las multas y sanciones no monetarias en diferentes ámbitos de acción de la supervisión del sector.

Como se ha discutido en Vásquez y Gallardo (2005), la idea detrás del comportamiento ilícito de los agentes es que existe una racionalidad económica que lo dirige, es decir los agentes evalúan los costos y beneficios económicos de su conducta ilegal para decidir si incumplen o no con las normas. Así, las infracciones, delitos y demás violaciones a las normas son en promedio una respuesta a incentivos económicos que se producen en una situación donde el acto ilegal reporta mayores beneficios pecuniarios o económicos en relación a los costos asociados a las infracciones (por ejemplo, las multas y sanciones pecuniarias, el encarcelamiento, la suspensión de actividades empresariales, el comiso de bienes, entre otros).

En este sentido, la literatura especializada plantea que naturalmente no existen incentivos para que los agentes privados cumplan con las normas en la medida que pueda conseguir mayores beneficios incumpléndolas. En otras palabras, los agentes económicos pueden adoptar conductas oportunistas con el objeto de explotar las ganancias ilícitas burlando las normas y no considerando los daños y perjuicios que sus acciones ilegales pueden causar a la sociedad. Por ejemplo, ello ocurre cuando no es posible observar el esfuerzo que hace la empresa concesionaria para prevenir



accidentes o cuando la información relativa a su esfuerzo es información privada⁴⁴.

Durante este proceso, el OSINERG ha enfrentado el desafío de diseñar esquemas de sanciones para aquellos casos donde se infringen las normas de seguridad sectoriales que provocan, *ex – post* su ocurrencia, daños significativos a la sociedad (externalidades negativas). El que sucedan este tipo de incidentes es una particularidad de la industria de hidrocarburos ya que sus actividades industriales en las fases *upstream* y *downstream* están expuestas a una serie de riesgos que pueden ocasionar accidentes y daños sociales significativos, tanto en la etapa de construcción de la infraestructura de producción, transporte y comercialización como en la etapa de operación de la misma.

Los perjuicios sociales se manifiestan, por ejemplo, en la figura de daños al medio ambiente, afectaciones negativas a la integridad de las personas o daños económicos a terceros. La posibilidad de que ocurran estos perjuicios hace necesario el concurso del OSINERG para garantizar que las empresas cumplan con las normas de seguridad del sector mediante el ejercicio de la supervisión y la aplicación de sanciones para disuadir las conductas ilícitas o inducir a que las empresas internalicen de alguna manera los daños que provocan a la sociedad.

⁴⁴. Ello sucede cuando existe el problema de la asimetría de información entre el Organismo Supervisor y las empresas concesionarias.

Como se ha planteado en el presente documento, las afectaciones a la integridad de las personas causadas por accidentes que tienen su origen en el incumplimiento de las normas técnicas y/o de seguridad pueden medirse mediante las técnicas que permiten estimar el valor de la “vida estadística”, entendido como el valor de la disposición a pagar que muestran las personas por adoptar medidas de seguridad para reducir los riesgos de afectación a su vida. De acuerdo a la literatura, es posible utilizar este valor para diseñar esquemas de sanciones óptimos que permitan al OSINERG mejorar el cumplimiento de las normas de técnicas y de seguridad en el sector.

Para deducir el esquema de sanciones óptimo, en este documento se ha planteado un modelo que analiza la relación de agencia entre un organismo supervisor y una empresa cuyas operaciones están sujetas a riesgos, de los cuales pueden provocarse accidentes que afectan la integridad de las personas. Con el objeto de regular la conducta de la empresa hacia una situación de cumplimiento de las normas, el organismo supervisor debe realizar una supervisión *ex – ante* la ocurrencia de incidentes, lo cual implica realizar un esfuerzo de fiscalización asociado a las medidas de supervisión regulares para elevar la probabilidad de detección de las infracciones. De ocurrir un accidente, el Organismo Supervisor debe supervisar *ex – post* el incidente con el objetivo de garantizar que la empresa asuma los costos asociados al accidente (remediación de daños). Para ello, debe realizar un esfuerzo de fiscalización adicional al que realiza regularmente. En ambas situaciones, la empresa puede apelar las sanciones en instancias superiores a la instancia administrativa (por ejemplo, el Poder Judicial), lo cual reduce la probabilidad de aplicación de las sanciones.

La solución del modelo teórico permite identificar que la multa óptima para la situación *ex – ante* está en función del beneficio ilícito que obtiene la empresa al incumplir las normas y de la probabilidad de detección que refleja el esfuerzo de fiscalización realizado por la agencia supervisora. La multa *ex – ante* cumple la función de disuadir a la potencial empresa infractora de incumplir las normas antes de la ocurrencia de perjuicios sociales severos. Esta multa iguala los beneficios de la empresa y el costo de no prevenir las infracciones a las normas de modo que la empresa no tenga incentivos para infringir la ley.

Por otro lado, la multa óptima para la situación *ex – post* depende también del beneficio ilícito que se obtiene por la infracción, pero también de un factor de agravación por el daño causado a la integridad de las personas, el cual se aproxima mediante la pérdida de valor de la vida estadística, y de un componente de error que se puede aproximar mediante la graduación de atenuantes y agravantes asociados al comportamiento procesal de las empresas. La multa ambiental *ex – post* tiene por objeto disuadir a la empresa de que incumpla con las disposiciones legales en el futuro e inducir a que internalice una parte de los daños sociales (externalidades) que provoca su conducta infractora, haciendo que el costo que asume la sociedad por los impactos sociales se iguale a los costos privados de la empresa.

Los resultados teóricos obtenidos permiten implementar un esquema de sanciones óptimo que permite disuadir comportamientos infractores por parte de los agentes administrados y corregir hasta cierto punto la falla de

mercado asociada a la generación de externalidades que en la práctica se manifiestan en daños a la integridad de las personas. El desafío para la implementación de un esquema de sanciones como el planteado es la estimación de las variables que determinan las sanciones óptimas. Este documento ha respondido a este desafío planteando metodologías de estimación de estas variables.

En primer lugar, se recomienda que el beneficio ilícito B se calcule utilizando el BENMODEL, el cual es un esquema desarrollado por la *Office of Enforcement and Compliance Assurance* de la *U.S. Environmental Protection Agency* (EPA). El modelo BEN tiene por objeto la cuantificación de los beneficios económicos derivados del incumplimiento de los compromisos para garantizar condiciones adecuadas de seguridad de acuerdo a la ley asumidas por las empresas privadas, cuyos detalles se explican en la Sección 4.1 de este documento

En segundo lugar, el factor G de agravación de la sanción es una proporción δ del valor de la vida estadística (VVS) de los agentes afectados por los daños de un accidente. La utilización de esta medida de valor es apropiada para aproximar la disposición a pagar de los individuos por adoptar medidas preventivas para reducir la probabilidad de ocurrencia de eventos adversos que pueden afectar severa o fatalmente su salud, puesto que puede capturar el valor económico total de las actividades que realiza el individuo a lo largo de su vida, ya sea que asigne su tiempo al ocio o al trabajo.

La estimación de este valor se puede realizar mediante cuatro enfoques: el capital humano, los salarios hedónicos, la valoración contingente y la transferencia de valores. Debido a las limitaciones que existen aplicar los tres primeros métodos, se opta por la utilización del método de transferencia de valores en su versión de meta-análisis, el cual consiste definir una función de transferencia que relaciona el valor de la vida estadística de estudios primarios para otros países y variables que explican este valor como el ingreso per-cápita, el alcance educativo, el riesgo de fatalidad, etcétera.

La estimación econométrica de este modelo requiere controlar por el sesgo de selección muestral que se genera debido a que el proceso de selección de los estudios de valoración se ve restringido por su procedencia provocando la aparición de este sesgo. Utilizando las técnicas econométricas propuestas por Heckman (1979) y empleando la información de las revisiones de estudios primarios que estiman el *VVS* a nivel internacional realizadas por Viscusi (1993) y Viscusi y Aldi (2003), es posible estimar el modelo controlando por el efecto del sesgo de selección, lo cual permite hallar los parámetros de interés de la función de transferencia. La aplicación de la transferencia de valores para el Perú arroja como resultado que el valor de la vida estadística al 90% de confianza es aproximadamente S/. 1.84 millones.

Es posible elaborar una metodología de graduación de este valor en función del grado de severidad de la afectación a la integridad de las personas, tal como se ha mostrado en este documento. Otra alternativa para graduar este

valor es calcular el daño en base a los estándares establecidos por el *Instituto Nacional Americano de Normas* (ANSI por sus siglas en inglés) para registrar y medir la experiencia en lesiones de trabajo⁴⁵. De acuerdo a este estándar se considera que la muerte y/o incapacidad total permanente ocasionada por lesiones de trabajo tiene un cargo de tiempo de 6000 días de inactividad laboral. A partir de este valor, es posible graduar el factor de agravación G en función del número de días de inactividad laboral debido al accidente.

Para finalizar, debe mencionarse que es necesario que en el futuro los instrumentos para la supervisión y fiscalización del sector (como el esfuerzo de fiscalización, las multas administrativas y otros instrumentos sancionadores) sean potenciados con un adecuado uso de la estadística, la consistencia del esquema de sanción para las diferentes industrias que integran el sector y entre las diferentes actividades de que conforman cada una de estas industrias, y la determinación simultánea de los instrumentos de fiscalización, tal como se recomienda en Vásquez y Gallardo (2006). Estas medidas permitirán mejorar los niveles de cumplimiento de las normas sectoriales. Asimismo, se espera que estas medidas permitan obtener ganancias en eficiencia en la ejecución de la supervisión, lo que se traducirá en menores costos de fiscalización para un determinado nivel de resultados o en mejores resultados frente a las restricciones de presupuesto.

⁴⁵. ANSI Z16.1-1967, revisión Z16.1-1954.R.1959.

8. Referencias Bibliográficas

Becker, G. (1968). "Crime and Punishment: An Economic Approach". *Journal of Political Economy*. 76: 169-217.

Boyle, K. y J. Bergstrom (1992). "Benefit transfer studies: Myths, pragmatism and idealism". *Water Resources Research*. 28:657-663.

Bowland, B. y J. Beghin (2001). "Robust estimates of value of a statistical life for developing countries". *Journal of Policy Modeling*. 23: 385-396.

Brouwer, R. y F. Spaninks (1999). "The validity of environmental benefits transfer: Further empirical testing". *Environmental and Resource Economics*. 14: 95-117.

Cohen, M. (1987). "Optimal enforcement Strategy to Prevent Oil Spills: An Application of a Principal-Agent Model with Moral Hazard". *Journal of Law and Economics*. 30: 23-51.

Cohen, M. (1999). "Monitoring and Enforcement of Environmental Policy". En: Folmer, H. y T. Tietenberg (ed). *The International Yearbook of Environmental and Resource Economics 1999/2000*. Aldershot: Edward Elgar.

Conte, M., P. Perel, R. Pitarque, y G. Sánchez (2003). "Estimación del Costo Económico de la Mortalidad Atribuible al Tabaco en Argentina". Universidad del CEMA. Mimeo.

Desvousges, W., M. Naughton, y G. Parsons (1992). "Benefit Transfer: Conceptual Problems in Estimating Water Quality Benefits using existing studies". *Water Resources Research*. 28: 675-683.

Downing, M. y T. Ozuna (1996). "Testing the reliability of the benefit function transfer approach". *Journal of Environmental Economics and Management*. 30: 316-322.

Greene, W. (2002). *Econometric Analysis*. 5th Edition. New Jersey: Prentice Hall.

Hammit, J. y M. Ibararán (2004). *Estimando el Valor Económico de Reducir los Riesgos en la Salud en la Ciudad de México: Diferencial en Compensaciones Salariales*. Universidad de las Américas. Mimeo.

Heckman, J. (1979). "Sample Selection Bias as a Specification Error". *Econometrica*, 47: 153-161.

Heston A., y R. Summers (2002). *Penn World Table*. Version 6.1. Center for International Comparisons at the University of Pennsylvania (CICUP).

Kirchoff, S., B. Colby y J. LaFrance (1997). "Evaluating the performance of benefit transfer: an empirical inquiry". *Journal of Environmental Economics and Management*. 33: 75-93.

Kochi, I., B. Hubell, y R. Kramer (2001). *Economic Valuation of Mortality Risk Reduction: Assessing the State of the Art for Policy Applications*. Proceedings, Session IIIB. The Search for Improved Mortality Risk Estimates for Use in Policy Analysis. Environmental Protection Agency, USA.

Leggett, C., J. Neumann y P. Penumalli (2001). *Willingness to Pay for reductions in Fatal Risk: A Meta-Analysis of the Value of Statistical Life Literature*. Proceedings, Session IIIB. The Search for Improved Mortality Risk Estimates for Use in Policy Analysis. Environmental Protection Agency, USA.

Pearce, D. A. Markandya y E. Barbier (1989). *Blueprint for a Green Economy*. London: Earthscan Publications Limited.

Polinsky, M. y S. Shavell (2000). "The Economic Theory of Public Enforcement of Law". *Journal of Economic Literature*. 38: 45-76.

Stigler, G. (1970). "The Optimum Enforcement of Laws". *Journal of Political Economy*. 78: 526-536.

Vásquez, A. y J. Gallardo (2006). *Sistema de Supervisión y Esquemas de Sanciones para el Sector Hidrocarburos*. Documento de Trabajo N° 10. Oficina de Estudios Económicos – OSINERG.

Viscusi, W., y J. Aldy (2003). “The Value of a Statistical Life: A Critical Review of Market Estimates throughout the World”. *Journal of Risk and Uncertainty*. 27: 5-76.

Viscusi, W. (1993). “The Value of Risks to Life and Health”. *Journal of Economic Literature*. 31: 1912-1946.

Fuentes de Información

OECD (1999). “Education at a Glance 2003 Annex1-Table X1.3 school year and financial year as used for the calculation of the indicators”.

www.pwt.econ.upenn.edu/php_site/pwt61_retrieve.php

OIT (1996). Rates of Fatal Injuries. www.laborsta.ilo.org



Anexo N° 1: Atenuantes y Agravantes formulados por la GFH

Calificación Atenuantes y Agravantes Expediente			
F1: Antecedentes sobre cumplimiento de observaciones sobre seguridad (valor de -2 a 2)			
Antecedentes de Incumplimientos			
Al infractor no se le han realizado observaciones por incumplimientos de las normas anteriormente, o si se le han realizado, éstas fueron levantadas dentro del plazo otorgado	Calificación	Final	
	-2		
El infractor tiene procesos administrativos por otros incumplimientos de seguridad	1	1	
El infractor ha sido sancionado por la misma infracción, habiendo quedado consentida la resolución por la cual se le impuso dicha sanción	2		
F2: Respuesta a la emergencia: activación del plan de seguridad para atender la emergencia (valor de -2 a 1)			
Respuesta a la Emergencia			
Respuesta inmediata y activación completa del procedimiento de seguridad para atender emergencias	Calificación	Final	
	-2	-2	
Respuesta tardía y activación parcial del Procedimiento de Seguridad para atender emergencias	0		
Sin respuesta por la empresa, acudieron terceros	1		
F3: Grado de colaboración, diligencia o entorpecimiento y/o negativa en el proceso de supervisión y fiscalización (valor de -1 a 1)			
Grado de colaboración, diligencia o entorpecimiento y/o negativa en el proceso de supervisión o fiscalización			
Colaboración total en la investigación	Calificación	Final	
	-1		
Actitud indiferente: no colabora con la supervisión con celeridad	0	0	
Entorpece la supervisión del OSINERG (RCD T3-2004-OS/CD Art. 25.1 y 25.2)	1		
F4: Daño o Perjuicio Causado (valor de 0 a 3)			
Daño o Perjuicio Causado			
El accidente no compromete aspectos de seguridad de otras personas	Calificación	Final	
	0		
Afecta a personas adicionales de la empresa	1	1	
Afecta además a personas ajenas y propias de la empresa	2		
Causa daño a poblador(es) de Comunidad(es) Nativas(as)	3		
F5: Reiterancia, Reincidencia, Pertinencia (valor de 0 a 3)			
Reiterancia, Reincidencia, Pertinencia			
No aplica	Calificación	Final	
	0		
Reiterativa	1	1	
Pertinencia	2		
Reincidente	3		
F6: Carácter intencional o negligente de la acción u omisión constitutiva de la infracción (valor de -2 a 4)			
Carácter intencional o negligente de la acción u omisión constitutiva de la infracción			
Presenta procedimientos internos de seguridad y los cumplió	Calificación	Final	
	-2		
Procedimiento empírico, actuación sin experiencia	1		
Error operativo	3	3	
Negligencia o dolo	4		
F7: Engaño o incumplimiento de hechos o situaciones (valor de 0 a 3)			
Engaño o incumplimiento de hechos o situaciones			
No aplica	Calificación	Final	
	0		
No presenta información requerida	1		
Presenta información falsa	3	3	
F8: Reparación del daño o realización de medidas correctivas, urgentes o subsanación de irregularidades en que hubiere incurrido, (valor de -2 a 2)			
Reparación del daño o realización de medidas correctivas, urgentes o subsanación de irregularidades en que hubiere incurrido la empresa			
Reparación o corrección de la irregularidad con celeridad y eficiencia	Calificación	Final	
	-2	-2	
Reparación o corrección de la irregularidad indiferente y tardía	1		
Reparación o corrección de la irregularidad negativa	2		
F9: Capacidad para afrontar los gastos evitados (valor de 0 a 3) (entiéndase que a mayores ingresos la empresa cuenta con mayores recursos para tomar medidas o realizar gastos para indemnizar y/o reparación civil, gastos de invalidez, etc.)			
Volumen de ventas de la Empresa en 1 año (MMSUS)			
Hasta 1 MMSUS	Calificación	Final	
	0		
Más de 1 MMSUS hasta 50 MMSUS	1		
Más de 50 MMSUS hasta 150 MMSUS	2		
Más de 150 MMSUS	3	3	
F10: Implementación de Sistema de Seguridad (valor de -2 a 2). La empresa deberá acreditar que cuenta con un Sistema de Seguridad Industrial - Ocupacional			
Sistema de Seguridad			
Cuenta con capacitación de entidades internacionales de seguridad como la NFPA, COASTAL, Sistema STOP, etc. (opciones responsables en cuanto a salud y seguridad, conocimiento y habilidades para seguridad de las personas).	Calificación	Final	
	-2		
Solo cuenta con procedimientos internos propios de seguridad de la empresa	0	0	
No cuenta con un ingeniero de seguridad colegiado	2		
F11: Afectación a bienes ajenos a la empresa (valor de 0 a 1)			
Afectación a bienes ajenos a la empresa			
No afecta a bienes ajenos a la empresa	Calificación	Final	
	0	0	
Afecta a bienes ajenos a la empresa	1		
Total Agravantes - Atenuantes			8
Valor del factor "A" para aplicar por atenuantes y agravantes			1.08



Anexo N° 2: El Modelo BEN de la U.S. *Environmental Protection Agency* (EPA)

El modelo BEN es un modelo computacional desarrollado por la US. EPA de los Estados Unidos para el cálculo de los beneficios económicos que una empresa infractora obtiene por evitar o retrasar el cumplimiento de las normas ambientales. Este modelo constituye una herramienta complementaria que es utilizada por los especialistas de la US. EPA para el diseño de multas ambientales. Además, este modelo está en línea con una de las principales metas de la política general de la US. EPA. Esta meta consiste en que la multa debe reconocer al menos los beneficios de incumplir con las normas ambientales para asegurar que las empresas tengan el incentivo suficiente para cumplir a tiempo con las normas.

Desde una óptica conceptual, las empresas no tienen ningún incentivo para invertir en capital y tecnología asociados al control de la contaminación y en general con la prevención de daños ambientales, debido a que constituyen inversiones que no ofrecen rendimiento, o en todo caso ofrecen beneficios que se diluyen entre muchos agentes. Al organismo supervisor y a la sociedad en general les interesa que las empresas que operan actividades que involucran determinado riesgo estén interesadas en desarrollar determinados mecanismos orientados a la prevención de daños, así como a la remediación de los mismos. Una forma muy intuitiva de inducir a las empresas a que realicen el esfuerzo necesario para la prevención de los daños es imponerles sanciones por el monto de los costos ahorrados o beneficios ocultos obtenidos por no cumplir con las normas.

Precisamente, el espíritu del modelo BEN está basado en esta motivación teórica. La utilidad del modelo es que ofrece una estimación de los beneficios que la empresa infractora obtiene por no cumplir con las normas, lo que está asociado a la decisión de no invertir en maquinarias y equipos especializados en el control de la contaminación. Sobre la base de la información de los costos de estos equipos y maquinarias, así como de cualquier costo en el cual la empresa incurriría si observase las normas de prevención de daño, el modelo BEN calcula el beneficio del incumplimiento. Finalmente, ésta última variable sirve de insumo para el cálculo de la multa óptima entendida como aquella que logra disuadir a las empresas del incumplimiento de las normas. Esta multa óptima es la que hace a las empresas indiferentes entre cumplir y no cumplir las disposiciones legales.

La información que requiere el modelo puede provenir de dos fuentes. Por un lado, la información de los costos puede provenir de las mismas empresas. El organismo supervisor en su calidad de organismo regulador puede obligar a la empresa a que le reporte los costos en los que incurrió para la adquisición de la tecnología adecuada para la prevención de los daños. Por otro lado, la agencia supervisora puede contar con el personal especializado en la valoración de las instalaciones, equipos y maquinarias. A continuación se presenta una descripción de las variables que son necesarias para la implementación del modelo.

a) Tasa de impuesto a la renta. Esta variable es importante para tomar en cuenta los gastos o ahorros en el pago del impuesto derivado de la adquisición de las maquinarias y equipos.

b) Tasa de inflación. Es utilizada para realizar el ajuste por cambios en la inflación.

c) Tasa de descuento. El modelo BEN utiliza el costo promedio ponderado del capital (WACC por sus siglas en inglés) para el cálculo del costo de capital de las empresas con fines de lucro. El WACC es un costo promedio ponderado del capital que refleja el costo de la deuda con terceros y el costo de la deuda con los accionistas de la empresa, ponderados por la participación de cada fuente de endeudamiento sobre el total.

d) La fecha en la que se pagará la multa. El organismo supervisor debe informar a la empresa infractora la fecha que está considerando en el cálculo de los beneficios asociados al no cumplimiento de las normas de seguridad y, que su retraso en el pago de la multa devendrá en mayores beneficios (costos ahorrados) y por lo tanto, en una mayor multa. Esta recomendación surge por dos razones. La primera es que el hecho de compartir este tipo de información con la empresa infractora genera incentivos para que ésta agilice el pago de la multa. La segunda es que mediante este mecanismo el organismo supervisor es transparente en la determinación de la magnitud de los costos, en términos de penalidad, que está imponiendo a la empresa. De este modo, el organismo supervisor evita

que la empresa se enfrente a situaciones inesperadas y le faculta a estar preparada para afrontar el pago de la multa.

e) Fechas de incumplimiento y cumplimiento. La fecha de no cumplimiento es la fecha en la que ocurre la primera infracción que finalmente se traduce en el accidente. El modelo BEN utiliza esta fecha como *proxy* de la fecha en la cual el infractor debió haber incurrido en los costos necesarios para cumplir las normas y de ésta forma evitar los daños a la sociedad. Mientras más pronto sea el incumplimiento de la norma, los beneficios serán mayores y asimismo, la penalidad o multa.

La fecha de cumplimiento es la fecha en la cual el infractor se compromete a cumplir los requerimientos legales de seguridad. En otras palabras, la fecha en la que se espera que el infractor empiece a cambiar su comportamiento hacia uno consistente con el cumplimiento de las normas. Mientras este cambio de actitud se dilate, mayor será el beneficio obtenido por la empresa.

f) Costos estimados. El cálculo de los beneficios que la empresa infractora obtiene por no cumplir con las disposiciones ambientales se basa en la estimación de los costos en los cuales incurriría la empresa para prevenir los daños. Estos costos pueden reflejarse en la adquisición, instalación y adecuación de maquinarias y equipos que cuentan con la tecnología adecuada. Concretamente, la información que se requiere es la siguiente:

- Información de costos de inversión en instalaciones y equipos necesarios para las actividades de prevención y remediación pronta de los daños ambientales.
- Información de gastos no depreciables y no corrientes (*one time costs*).
- Información de gastos corrientes asociados a las actividades de operación y mantenimiento de las instalaciones y los equipos.

Para mayores detalles véase:

US. Environmental Protection Agency (EPA) (1999). *User Manual for BEN Financial Analysis Model*.
<http://www.epa.gov/Compliance/civil/programs/econmodels/ben.pdf>.

**Organismo Supervisor de la Inversión en Energía - OSINERG
Oficina de Estudios Económicos - 2006**

Equipo de Trabajo

Raúl Pérez-Reyes Espejo Gerente (e) de Estudios Económicos.

Especialistas:

Raúl García Carpio Especialista en Regulación Económica.
Sector Eléctrico.

Arturo Vásquez Cordano Especialista en Organización Industrial.
Sector Hidrocarburos.

Luis Bendezú Medina Especialista en Econometría.

Asistente Administrativo:

Clelia Bandini Malpartida

Practicantes Profesionales:

Carolina Lenkey Ramos Sector Hidrocarburos

Rosa Montoya Sandoval Sector Eléctrico