

Viabilidad de los instrumentos económicos para mitigar efectos negativos sobre la biodiversidad: La contaminación por mercurio en la región de La Mojana

Este trabajo hace parte de los cuatro estudios de caso que está desarrollando el Instituto Alexander Von Humboldt a través del proyecto: "Análisis de incentivos económicos perversos para la conservación de la biodiversidad", cuyo objetivo es identificar incentivos económicos, fallas de mercado o de política, de carácter sectorial, que generen efectos negativos sobre la conservación de los recursos biológicos en Colombia. Este proyecto busca evaluar el comportamiento de los agentes económicos sobre la conservación de la biodiversidad, ante la ausencia o existencia de determinados instrumentos de política, y proponer recomendaciones para mejorar su desempeño.

La región de la Mojana es una zona de humedales que alberga una amplia variedad de hábitats, alojando peces, reptiles, mamíferos y especialmente aves acuáticas residentes y migratorias. Afronta un grave problema de contaminación por mercurio, producto de la minería aurífera que se desarrolla en las zonas aledañas como los municipios de Zaragoza, Bagre, Nechí y Segovia. Las concentraciones de mercurio que se han encontrado en el agua, sedimentos, plantas y tejidos de los peces, son altas con respecto a los estándares admisibles (cuadro 1). Este metal tóxico desencadena un grave problema de contaminación en los peces y, a través de la cadena trófica, en la fauna y flora silvestre asociadas. Esto adquiere relevancia si se considera que el pescado y la fauna silvestre son las principales fuentes proteínicas de los habitantes de la zona y que el mercurio es un elemento bioacumulable que permanece por largos períodos de tiempo en los organismos.

Cuadro 1
Concentración de mercurio en la Mojana.
Criterios de calidad en la reglamentación colombiana e internacional

Recurso	Mercurio ppb	Desviación estandar	Cantidades admisibles	Origen de la norma
Agua	4.93	2.30	2 10	c.humano c.pecuario
Flora	427	68.50	30/kg P.F. 10CL50/96	SNI SNN
Cabellos	3.04	1.66	0.70 - 3.00/g de cabello	SNI
Peces	458.50	1.80	500	SNI

Datos promedio

C.humano: Consumo humano.

C.pecuario: Consumo pecuario.

P.F.: Peso fresco.

SNI: Según Norma Internacional.

SNN: Según norma nacional.

CL50/96: Concentración de mercurio que produce la muerte del 50% de los organismos sometidos en un período de 96 horas

Con relación a la aplicación de estándares ambientales para regular contaminantes tóxicos hay que tener en cuenta que el exceso en los niveles de emisión de contaminantes tóxicos, por mínimo que sea, puede ocasionar grandes daños a la salud humana o al funcionamiento de los ecosistemas. Por esta razón, las normas que establecen los niveles máximos permisibles de mercurio deben existir y hacerse cumplir al margen de la existencia de otros instrumentos regulatorios.

Ante el grave impacto que la contaminación por mercurio causa a la biodiversidad, el estudio busca identificar los aspectos económicos que originan el comportamiento contaminante de los mineros, y posteriormente propone alternativas que motiven una modificación de este, a través de la aplicación de dos tipos de instrumentos económicos: un impuesto a la materia prima contaminante (el mercurio); y/o una tasa retributiva por vertimientos de mercurio. El propósito es motivar al agente contaminante a seleccionar la forma costo - efectiva de disminuir su nivel de emisiones, bien sea incorporando tecnologías limpias o modificando sus procesos productivos.

La minería del oro y el problema de contaminación por mercurio: Identificación de fallas de mercado

La minería aurífera que afecta a la región de La Mojana se desarrolla en las orillas del río Nechí y el municipio de Segovia ubicados al Nororiente Antioqueño. Las explotaciones de oro que allí se realizan corresponden a la pequeña y mediana minería, en donde el 90% son depósitos de aluvión y el 10% depósitos de veta. Estos mineros se caracterizan por su condición de ilegalidad, informalidad y movilidad, producto de constantes procesos de migración. Desde el punto de vista técnico, predomina la utilización de técnicas artesanales con escaso nivel de mecanización, que involucran procesos muy contaminantes y poco eficientes.

En términos generales, el proceso productivo comprende las etapas de exploración, arranque y beneficio del oro. La etapa de beneficio consiste en separar el oro del material removido; se realiza mediante procedimientos químicos como la amalgamación con mercurio y la cianuración, donde se generan grandes cantidades de mercurio, grasas, sólidos suspendidos y gases tóxicos, que son vertidos al suelo, al agua y al aire.

El mercurio se caracteriza por poseer una alta volatilidad que facilita su movimiento por vía acuática o atmosférica, forma combinaciones orgánicas altamente tóxicas y bioacumulables que permanecen por amplios períodos de tiempo y migran a través de la cadena trófica. Los peces tienen la capacidad de almacenar el mercurio en su organismo en un porcentaje mayor en comparación con la concentración del medio. Esto hace que la contaminación con este metal se constituya en un problema crítico para los habitantes de la región y de regiones aledañas.

Al depositar el mercurio y demás desechos tóxicos en el ambiente, los mineros no retribuyen ni compensan en forma alguna el daño causado a los recursos, ecosistemas y población en general. Desde la perspectiva económica, esto significa que los mineros no internalizan en sus costos de producción privados los costos ambientales y sociales de la contaminación que generan.

El estudio se orientó a encontrar la forma de subsanar esta falla a través de la aplicación de instrumentos económicos para el control de la contaminación; evaluando el impacto de la aplicación de diferentes instrumentos sobre la rentabilidad de los mineros. Los instrumentos económicos buscan modificar el comportamiento contaminante de los mineros a través de alteraciones de las señales del mercado que estos enfrentan. Esto incentiva a cada agente a decidir sobre el nivel de contaminación que puede controlar.

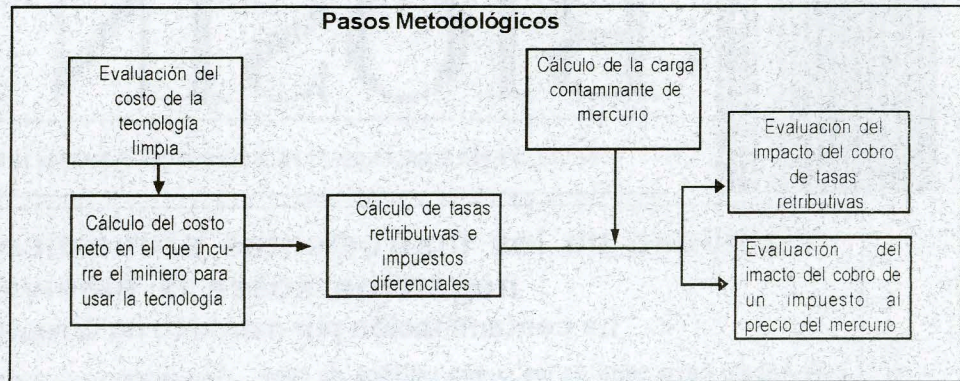
Impacto de la aplicación de instrumentos económicos

Metodología

El impacto en la rentabilidad de los mineros resultante de la aplicación de los instrumentos económicos, se midió a través de su efecto en el valor presente neto (VPN) de los ingresos. Para cada técnica extractiva se calculó el VPN en los siguientes escenarios: a) situación inicial, b) después de incorporar la tecnología limpia -la alternativa tecnológica planteada en este caso consiste en un equipo para la recuperación y reactivación de mercurio- c) después de aplicar el instrumento económico y d) incorporando la tecnología limpia y aplicando el instrumento económico.

Todos los escenarios fueron comparados con el VPN en la situación inicial. El análisis se desarrolló para un periodo de cinco años, que corresponde al tiempo de vida útil de la tecnología limpia. Se asume que durante este periodo se mantienen constantes la productividad, las tecnologías de extracción minera y los precios del oro y del mercurio.

Los instrumentos económicos a evaluar (tasas retributivas e impuestos al precio del mercurio), fueron calculados a partir de los costos de inversión, operación y mantenimiento de la tecnología limpia y a partir del cálculo de los costos de transacción que implica la utilización de la misma. Para realizar este ejercicio se desarrollaron los siguientes pasos metodológicos:



Evaluación del costo de la tecnología limpia

Cuando se propone la aplicación de instrumentos económicos para el control de la contaminación deben plantearse a la par alternativas tecnológicas que permitan disminuir los niveles de emisión, de tal manera que el agente contaminante pueda seleccionar el nivel de emisiones que su estructura de costos le permite controlar. Con base en los costos de inversión, operación y mantenimiento de este equipo, se calculó la tarifa mínima que se debe cobrar por el uso mismo, cuyo valor puede ser calculado a partir de la siguiente expresión:

$$T = \frac{VPC}{\sum \left(\frac{Q}{(1+r)^t} \right)}$$

En donde: T es la tarifa por turno; VPC es valor presente de los costos del equipo; Q es el número de veces que se utiliza el equipo; r es la tasa de descuento y t es el periodo anual de vida útil del equipo.

Cálculo de la tasa retributiva mínima y del impuesto al precio del mercurio

La tarifa por turno anteriormente mencionada, es sólo uno de los costos en que debe incurrir el minero para poder utilizar la tecnología limpia. El costo neto depende de la técnica de explotación del oro y del tamaño de la producción. Por lo tanto se requiere calcular tasas diferenciales que incorporen la frecuencia de uso del equipo, los costos de transacción (tiempos de espera y vigilancia del proceso) y los ingresos por mercurio recuperado para cada una de las técnicas. Desde esta perspectiva, el costo neto en el que incurre el minero por utilización de la tecnología limpia es:

$$CNM = T + CT - IHg$$

Donde CNM es el costo neto del minero, T es la tarifa por turno, CT son los costos de transacción e IHg son los ingresos por mercurio recuperado.

El CNM calculado es el valor que fija la base de la tasa retributiva mínima que se debe cobrar ya que incluye los costos de transacción. El impuesto al precio del mercurio se calculó utilizando el mismo modelo de análisis descrito anteriormente, con la diferencia que al final, mediante un proceso iterativo se incluye en el precio del mercurio el costo neto del uso del equipo.

Modelo matemático planteado

Para desarrollar el análisis descrito, se construyó un modelo matemático que contiene tres bloques básicos: información relacionada con el equipo reciclador de mercurio (costos del equipo, del combustible y de la mano de obra del operario); información sobre las condiciones del minero (ingresos por uso del equipo y costos de transacción); variables como la tasa de descuento, el precio del mercurio, el nivel de emisiones y producción promedio mensual de oro y las ecuaciones que permiten calcular los costos de transacción por el uso del equipo, la tarifa por uso, la tasa retributiva y el impuesto al precio del mercurio.

El modelo fue alimentado con los datos correspondientes a cada una de las técnicas, obteniendo las tarifas e impuestos diferenciados para niveles de recuperación del 85 y 60%, que se presentan en el cuadro 2.

Cuadro 2
Valores de las tarifas e impuestos mínimos

	Tarifa por emisiones	Impuesto al precio del Hg	Tarifa por emisión	Impuesto al precio del Hg
Barequeros	169.09	40.05	180.46	51.11
Motobomberos 9 HP	41.52	9.83	52.89	16.19
Motobomberos 16HP	8.94	2.12	20.33	6.2

Estimación de la carga contaminante de mercurio

Para establecer una aproximación al nivel de emisiones de mercurio se partió del hecho que el mercurio es un insumo productivo que no se incorpora al producto. Así, como se conocen las cantidades de mercurio utilizadas como insumo por unidad de producción, se puede tener una idea aproximada de las emisiones. La Dirección de Desarrollo Sostenible del MMA, estimó que por cada gramo de oro producido se utilizan cinco gramos de mercurio. A partir de esta relación se calculó el nivel de emisiones de mercurio para las diferentes técnicas.

Cuadro 3
Emisiones de mercurio para diferentes técnicas de minería de aluvión

Técnica minería de aluvión	Producción de oro g/mes	Emisiones g/mes
Barequero 2 trabajadores	22	110
Barequero 4 trabajadores	57	285
Motobombero motor 9hp	96	480
Motobombero motor 16hp	115	575
Aluvión Mecanizado	2.384	11.920

Resultados obtenidos

Impacto de incorporar el costo de la tecnología limpia

Al analizar el costo neto en que incurren los mineros por la utilización de la tecnología limpia, se estableció que los barequeros incurren en costos de transacción muy altos, los cuales se incrementan con el número de veces que utilicen el equipo al mes tal y como se muestra en el gráfico 1. El bajo nivel de producción de estos mineros, hace que las ganancias por mercurio recuperado no compensen los costos de limpiarlo. Tanto es así que incluso si el servicio de reciclaje se le prestara gratis (T=0), el costo neto de utilizarlo aún seguiría siendo alto.

El barequero se vería obligado a utilizar casi a diario el equipo limpio, aún con cantidades de oro que son muy pequeñas en relación con la capacidad total del equipo

no porque aumente su producción. De hecho su producción al mes es en promedio constante, él tiene que vender el oro que extrae para cubrir sus necesidades.

En las escalas de producción más grandes, como aluvión mecanizado, el uso del equipo permite obtener recursos adicionales por gramo de mercurio procesado. Por ejemplo, para la técnica de aluvión mecanizado utilizar el equipo una vez al mes con utilización a plena capacidad, significa un ingreso adicional neto (descontando los costos del equipo) de \$22.49 por gramo de mercurio recuperado.

Para niveles de producción mayores, los ingresos por mercurio recuperado superan los costos de inversión, operación y mantenimiento del equipo, dependiendo del número de veces que se utilice el equipo al mes (Gráfico 2). Esto significa que para este grupo es rentable utilizar la tecnología limpia, si puede operar el equipo una o dos veces al mes, a plena capacidad.

Impacto del cobro de una tasa retributiva mínima por emisiones de mercurio

En el gráfico 3 se observa el impacto sobre VPN de los mineros del cobro de una tasa de \$169 por gramo de mercurio emitido y se compara con la situación inicial, la incorporación del equipo y la aplicación simultánea del equipo y la tasa. Se observa que el VPN se reduce considerablemente para todas las técnicas. En el caso de los barequeros cualquier tasa afecta su rentabilidad, disminuyendo hasta en 4.1% el VPN. Para estos pequeños mineros el cobro de una tasa por emisiones no se constituye en incentivo para acceder a la tecnología limpia.

Para los mineros que manejan producciones grandes (aluvión mecanizado), la opción más rentable es incorporar la tecnología limpia ya que esto conlleva aumentos en sus ingresos del orden de 0.08%.

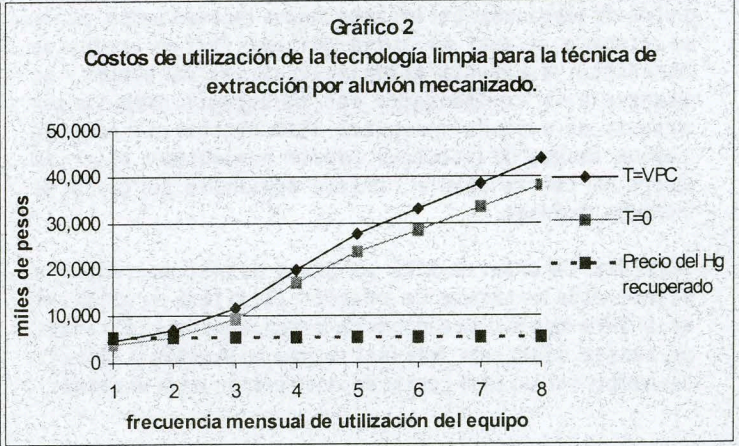
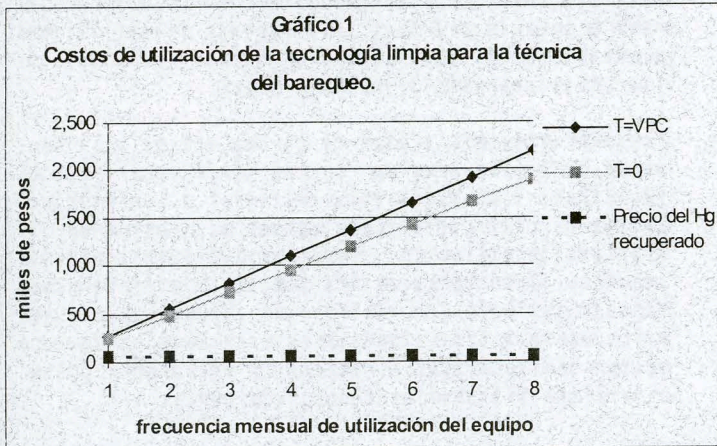
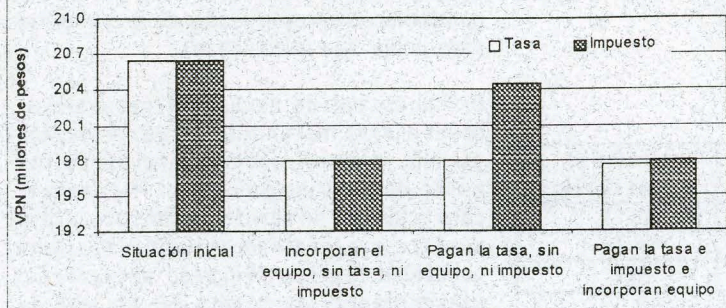


Gráfico 3: Impacto en el VPN por el cobro de una tasa retributiva y un impuesto al precio del mercurio para la extracción utilizando la técnica del barequeo

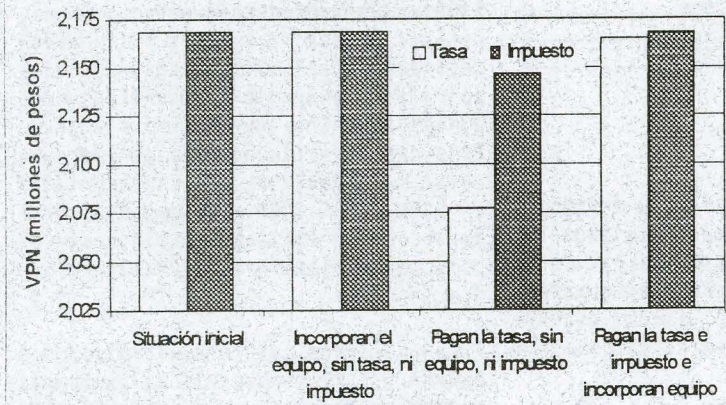


Impacto del cobro de un impuesto al precio del mercurio

Se evaluaron tres niveles de impuesto al mercurio para cada una de las técnicas de extracción. Se observa que únicamente niveles altos de impuesto, del orden de \$40 por gramo adquirido como materia prima, se constituyen un incentivo para que los mineros incorporen la tecnología limpia. A los barequeros les resulta más rentable pagar este nivel de impuesto que incorporar la tecnología limpia (gráfico 3).

Para las demás técnicas, con este nivel de impuesto, la alternativa más rentable es incorporar el equipo de limpieza (gráfico 4). El precio actual del mercurio es de \$12 gramo; con el reajuste propuesto el precio del mercurio quedaría en \$52 gramo.

Gráfico 4: Impacto en el VPN por el cobro de una tasa retributiva y un impuesto al precio del mercurio para la extracción utilizando la técnica del aluvión mecanizado



Conclusiones

- La alternativa tecnológica propuesta no está al alcance de los grupos de barequeros por los altos costos de transacción, aún si se ofreciera su uso en forma gratuita. Dichos costos se incrementan al aumentar la frecuencia de uso del equipo y no alcanzan a ser compensados con los ingresos recibidos por concepto de mercurio recuperado. Para mineros que manejan mayores escalas de producción (aluvión mecanizado), el uso del equipo les permite obtener recursos adicionales por gramo de mercurio reciclado.

Tasas altas del orden de \$169 por gramo de mercurio, reducen el VPN de todas las técnicas de extracción; por lo tanto se constituyen en un fuerte incentivo para incorporar la tecnología limpia. Sin embargo, para los barequeros, este nivel de tasa no incentiva la utilización del equipo, por los altos costos de incorporación de la tecnología.

- Actualmente, el cobro de una tasa retributiva por emisiones presenta dificultades para su aplicación por las condiciones de ilegalidad, informalidad, movilidad, bajo nivel tecnológico y altas presiones por conflictos sociales que caracterizan al sector. De otra parte, los vertimientos son discontinuos y dispersos, lo que dificulta los procesos de medición, control y monitoreo.
- Cuando el precio del gramo de mercurio se incrementa en un monto de \$40, a través de un impuesto para todas las técnicas (exceptuando a los barequeros), resulta más rentable incorporar la tecnología limpia. Niveles de impuesto más bajos en ningún caso incentivan el cambio tecnológico.
- La aplicación individual o conjunta de los instrumentos económicos evaluados conlleva a internalizar los costos ambientales generados por la contaminación con mercurio. Este hecho motiva a los mineros a buscar formas costo efectivas para disminuir el nivel de emisiones contaminantes, este cambio de comportamiento atenúa el efecto nocivo sobre los recursos biológicos y la salud de la población humana expuesta.

Recomendaciones

- Se recomienda al Ministerio de Minas y Energía que en coordinación con las gobernaciones y las alcaldías, busque los mecanismos para facilitar el proceso de legalización de pequeños mineros y barequeros. El acceso a la licencia de explotación permitiría ejercer control ambiental y de seguridad minera y mejoraría notablemente el sistema de recaudos por concepto de regalías.
- Se recomienda al Ministerio del Medio Ambiente que, en coordinación con el Ministerio de Minas y Energía, las CARs y las alcaldías municipales, evalúe la viabilidad de agrupar en cooperativas a los pequeños mineros y barequeros. A través de ellas se puede brindar el servicio de beneficio del oro en forma gratuita. Adicionalmente, las cooperativas deben facilitar a los mineros y sus familias otros servicios como capacitación, salud, o acceso al crédito, que compensen los costos de transacción en que deben incurrir para utilizar la tecnología. De lo contrario, aunque el servicio de beneficio del oro se preste gratis, los pequeños mineros no lo utilizarían.
- La aplicación de un impuesto ambiental al precio del mercurio, es recomendable sólo si se aplica en forma gradual, con la previa evaluación del impacto que esta medida puede causar en los demás sectores que hacen uso del mercurio como insumo. Como lo demuestra el presente trabajo, para que este instrumento se convierta en incentivo hacia el cambio tecnológico debe darse un incremento en el precio actual del mercurio del orden del 400% (actualmente el precio es de \$12/ g). Un incremento de esta magnitud generaría excesivas distorsiones en el mercado e incentivaría de inmediato el surgimiento de mercados negros.
- Para poder implementar el cobro de una tasa retributiva por emisiones de mercurio, se deben dar como mínimo las siguientes acciones: a. Censar e identificar al grupo de mineros; b. Conformar asociaciones de mineros en donde se registren las minas o áreas que son objeto de explotación; c. Establecer niveles de vertimientos presuntivos, diferenciados para cada grupo de mineros y para cada técnica de explotación. Con esta información mínima se podría construir un sistema de cobro a través de las asociaciones, en donde los recursos sean recaudados e invertidos por estos mismos grupos, en la compra de tecnologías menos contaminantes.