

Un modelo teórico para la fiscalización de un sistema de impuestos a las emisiones de contaminantes

Recibido para evaluación: 30 de Septiembre de 2005
Aceptación: 24 de Noviembre de 2005
Recibido versión final: 07 de Diciembre de 2005

Clara Inés Villegas ¹

RESUMEN

Se presenta una propuesta teórica para el desarrollo de una estrategia de fiscalización, que garantiza completo cumplimiento de un sistema de impuestos a la contaminación con presencia de autorreporte. Los modelos propuestos son estáticos; se basan en su mayoría en el modelo propuesto por Strandlund y Chávez (2000) para un sistema de permisos de emisión transferibles en presencia de autorreporte. Se desarrollan los modelos teóricos para tres posibles violaciones: violación en el autorreporte, violación en los límites máximos de vertimiento y violación en el pago. Con base en los resultados teóricos, se implementa una página de simulación tomando como datos hipotéticos un sistema con 20 fuentes reguladas que tienen diferentes funciones de costo marginal de abatimiento. Específicamente se analiza cómo varía el monto del impuesto, los costos de monitoreo, los costos de abatimiento, el valor del autorreporte y los costos totales, para cada uno de estos modelos en diferentes escenarios: cuando varía la meta de reducción de la contaminación, cuando varía el costo de la auditoría y cuando varía la magnitud de las sanciones impuestas por violación. Los resultados muestran que el comportamiento de dichas variables es el mismo para los tres modelos teóricos; sólo varía al interior de cada modelo en cada uno de los escenarios, y pueden ayudar en la formulación y diseño de un sistema de impuestos a la contaminación.

PALABRAS CLAVE: Fiscalización, Impuestos a la Contaminación, Autorreporte

ABSTRACT

A theoretical proposal for the development of an enforcement strategy is presented on this paper. The proposal guarantees full compliance of an emission charge system with self-report presence. The proposed models are static, and mostly based on those proposed by Strandlund & Chávez (2000) for a transferable permits system with self-report presence. Theoretical models were developed for three possible violations: self-report violation, maximum emission limits violation and payment violation. Based in theoretical results, a simulation was implemented with hypothetic data: 20 regulated firms with different marginal abatement cost functions. The variation in charge amount, Monitory costs, abatement cost, self-report value and total cost are analyzed, with each of the theoretical models under different scenarios. Our results show that the behavior of the different variables remains unchanged under the three static models, and that the only variations occur inside the scenarios. Our results can serve as a tool for the formulation and design of taxing systems

KEY WORDS: Enforcement, Emissions Charge, Self-Report

1. Ingeniera Civil. Especialista en Gestión Ambiental. Maestría en Economía de los Recursos Naturales y del Medio Ambiente. Profesora Asistente. Escuela de Geociencias y Medio Ambiente. Facultad de Minas. Universidad Nacional de Colombia. Sede Medellín. civilleg@unalmed.edu.co



1. INTRODUCCIÓN

El control de la contaminación y el consecuente mejoramiento de la calidad ambiental pueden ser logrados aplicando diversas formas de regulación. Las ganancias potenciales de eficiencia de una regulación a través de instrumentos económicos, y en particular de un sistema de impuestos, depende de manera crítica de los niveles de cumplimiento logrados, los cuales a su vez están determinados por el proceso de fiscalización de parte de las autoridades. En el análisis teórico y empírico de las políticas ambientales basadas en impuestos, se ha tendido a ignorar aspectos referidos a la necesidad de diseñar e implementar estrategias para inducir adecuados niveles de cumplimiento de parte de los agentes regulados.

Este artículo analiza desde un punto de vista teórico y empírico, el diseño de un sistema de fiscalización para una regulación a la contaminación basada en impuestos con presencia de autorreporte, ante tres posibles violaciones: violación en autorreporte, violación en niveles máximos de emisión y violación por no pago. Las simulaciones se realizan con funciones hipotéticas de costo marginal de abatimiento, y son hechas para verificar tendencias en el comportamiento de variables, como el nivel de impuesto requerido para garantizar el cumplimiento de la meta ambiental, los costos de monitoreo, los costos de abatimiento, el valor del autorreporte y los costos totales. Las simulaciones se desarrollan para cada uno de estos modelos en diferentes escenarios: variación en la meta de reducción de la contaminación, variación en el costo de la auditoría y cuando varía la magnitud de las sanciones impuestas por violación. A diferencia de los trabajos previos, el análisis de este artículo considera explícitamente, además de los costos de abatimiento de emisiones, los costos de fiscalización para inducir el cumplimiento de la regulación. Específicamente, uno de los propósitos del trabajo es verificar cómo cambian los costos de cumplimiento de una regulación que reduce el nivel de emisiones agregadas en un conjunto de fuentes reguladas, considerando tanto los costos de abatimiento, como los costos de asegurar el cumplimiento.

La motivación central de este trabajo es responder dos preguntas fundamentales: primero, cómo sería el modelo teórico de fiscalización para una regulación basada en impuestos, analizando diferentes violaciones posibles; segundo, cómo es el comportamiento de variables relevantes de costos de política ambiental, cuando se consideran los costos de fiscalización frecuentemente ignorados en la literatura.

En la sección dos se presenta una breve revisión teórica de los aspectos relativos a la fiscalización de instrumentos económicos. En la sección tres se presentan los modelos teóricos para la fiscalización de un sistema de impuestos con requerimiento de autorreporte. Específicamente, se desarrollan tres modelos teóricos: el modelo teórico uno considera una violación en el autorreporte, es decir, cuando una fuente reporta unas emisiones menores de las que realmente tiene. El modelo teórico dos considera una violación en los límites máximos de vertimiento, para aquellos sistemas en los cuales se combinan los sistemas de impuestos y los estándares. En el modelo teórico tres, se considera una violación en el pago de los impuestos, es decir, cuando la fuente no cancela sus obligaciones tributarias por vertimiento de contaminantes. En cada uno de los modelos teóricos se analiza particularmente la selección del nivel de emisiones por parte de la fuente, el nivel de emisiones que reporta la fuente, la probabilidad de auditoría (esto es, con qué probabilidad la autoridad ambiental visita la fuente para verificar que las emisiones reportadas coincidan con las emisiones reales de la fuente) y el valor del autorreporte en cada uno de los casos. La sección cuatro presenta los resultados de las simulaciones realizadas para cada uno de los modelos teóricos. En cada uno de ellos se simulan dos casos: el caso uno es aquel en el cual las sanciones dependen directamente del monto del impuesto y se determinan como un número “n” de veces esta variable, y en el caso dos las sanciones son un monto constante independiente del nivel de impuesto. Para cada uno de los casos se estudian tres escenarios: variación en la meta de descontaminación, variación del costo de auditoría y variación en las sanciones. Se observa el comportamiento de variables como costo de abatimiento, costos de monitoreo y costos totales de la regulación en cada uno de estos casos y escenarios.

Finalmente en la sección 5 se presenta un análisis de los resultados obtenidos y las conclusiones que se desprenden de este trabajo.

2. FISCALIZACIÓN DE INSTRUMENTOS ECONÓMICOS

Cohen (1998) realizó una revisión de la literatura acerca del monitoreo y fiscalización de políticas ambientales. El autor menciona que las consecuencias de ignorar aspectos como la fiscalización pueden ser fatales para la calidad ambiental y el bienestar social. Si una agencia reguladora impone una regulación nueva muy estricta, pero el no cumplimiento es muy alto, es posible que el resultado sea más contaminación y no menos como es el objetivo. Adicionalmente, si se ignoran los costos de esta actividad, el regulador puede implementar una política que es más costosa que una que esté vigente en ese momento. McKean (1980) plantea que costos altos de fiscalización y no cumplimiento pueden hacer que las regulaciones sean menos efectivas de lo deseado.

Cohen (1998) argumenta que un estudio de fiscalización de política debe empezar entendiendo el comportamiento de la firma¹. Las firmas responden a incentivos positivos y negativos. Si las sanciones esperadas son muy grandes, la amenaza a ser castigadas puede ser una razón para cumplir. Sin embargo, Russell, Harrington y Vauhn (1986) y Harrington (1988) señalan que el monitoreo por parte de los reguladores es con frecuencia limitado, y que cuando se descubren violaciones, las multas son bajas.

Para explicar el fenómeno de alto cumplimiento en ausencia de una fiscalización estricta, Harrington (1988) y Harford y Harrington (1991) proponen un modelo cuya idea básica es que las firmas sean clasificadas en dos grupos según su historial de cumplimiento: el grupo uno estaría constituido por aquellas que cumplen en la última inspección, y aquellas que no cumplen pertenecen al grupo dos; estas últimas serán sujeto de una mayor probabilidad de monitoreo y mayores sanciones. Este tipo de esquema permite al regulador incrementar la cantidad de firmas que cumplen para un nivel dado de monitoreo y sanciones esperadas.

También es posible que las firmas cumplan con regulaciones ambientales sólo por no aparecer en la "lista negra" de las autoridades ambientales. La aversión al riesgo también puede ser una explicación de cumplimiento de las firmas. Las normas sociales pueden igualmente funcionar para garantizar tasas de cumplimiento significativas. Esto ha sido estudiado por diversos autores como Pargal y Wheeler (1996), Hetige et al. (1996), Arora y Cason (1996), Brooks and Sethi (1997) y Konar y Cohen (1998). Estos autores discuten que la posibilidad de que la comunidad juegue un papel importante, es una función creciente de su ingreso y su nivel educativo.

3. MODELOS TEÓRICOS

En el presente artículo se presenta una propuesta de modelo teórico para el desarrollo de una estrategia de fiscalización para un sistema de impuestos con presencia de autorreporte, que garantiza completo cumplimiento, siguiendo a Stranlund y Chávez (2000).

3.1. Modelo teórico 1. Violación en el autorreporte de emisiones contaminantes

Se tienen n fuentes neutrales al riesgo que están reguladas bajo el sistema de impuestos con requerimiento de autorreporte².

Cada una de las fuentes tiene una función de costos de control de la contaminación $c(e)$ que es estrictamente decreciente y convexa en el nivel de emisiones (e): $c'(e) < 0; c''(e) > 0$.

Se considera inicialmente que la única violación posible en este tipo de sistema regulatorio es suministrar una información no verdadera en el autorreporte de las emisiones sobre las cuales se cobra el impuesto, esto es, reportar unas emisiones menores a las verdaderas. Sea r las emisiones reportadas por la fuente en el autorreporte que entrega a la autoridad ambiental. Estas emisiones reportadas a la autoridad pueden ser menores que las emisiones finales reales de la

1. Una firma puede tener una o varias fuentes emisoras de contaminación; el nivel de cumplimiento de esas fuentes puede ser diferente.

2. A lo largo del texto se hará referencia a fuentes y no a firmas, considerando la posibilidad de que una firma tenga una o más fuentes que están reguladas bajo el sistema.

fuente a las cuales denominaremos e . En este caso, se tiene una violación v equivalente a la diferencia entre las emisiones reales y las emisiones reportadas $v = e - r$.

El monto unitario que la fuente debe pagar como impuesto por sus vertimientos lo llamaremos T . Una fuente nunca reporta emisiones mayores que las reales. Esto se representa como $e \geq r$. Una fuente cumple cuando $e = r$.

Las fuentes son auditadas con una probabilidad π .

Si la autoridad ambiental, una vez que hace las auditorías a las fuentes, encuentra que una de ellas mintió en el autorreporte, se le impone una sanción que depende del tamaño de la violación: $g(e - r)$. Esta función de sanción tiene las siguientes características: $g(0) = 0; g'(0) > 0$. Las fuentes conocen la estrategia de fiscalización de la autoridad (esto es la probabilidad de auditoría y el monto de la sanción), y con base en ella, eligen el nivel de emisiones finales y la cantidad de emisiones que reportan a la autoridad.

3.1.1. Selección del nivel de emisiones

Una vez definidas las variables en la sección anterior, se analiza el problema de la fuente para seleccionar su nivel de emisiones. El problema de la fuente es básicamente un problema de minimización de costos: la fuente busca minimizar la suma de los costos de abatimiento, los costos en los que debe incurrir por el pago del impuesto, y las sanciones que se vería obligada a pagar en el caso de que sea descubierta en una violación. Esto se presenta en la Ecuación (1)

El problema que enfrenta la fuente, es entonces:

$$\begin{aligned} & \text{MIN} c(e) + \pi(e - r) * g(e - r) + T * r \\ & \text{s.t.} \\ & e \geq r > 0 \end{aligned} \tag{1}$$

La ecuación de Lagrange para [1] es:

$$\theta = c(e) + \pi(e - r) * g(e - r) + T * r - \beta * (e - r)$$

Las condiciones de Kuhn-Tucker para esta optimización son:



$$\frac{\partial \theta}{\partial e} = c'(e) + \pi(e - r) * g'(e - r) + g(e - r) * \pi'(e - r) - \beta = 0 \tag{2}$$

$$\frac{\partial \theta}{\partial r} = -\pi(e - r) * g'(e - r) - g(e - r) * \pi'(e - r) + \beta + T = 0 \tag{3}$$

$$\frac{\partial \theta}{\partial \beta} = r - e \leq 0, \beta \geq 0; \beta * (r - e) = 0 \tag{4}$$

Para obtener el nivel de emisiones elegido por la fuente, se hace el siguiente tratamiento matemático a las ecuaciones:

$$\text{De (3):} \quad T = g(e - r) * \pi'(e - r) + g'(e - r) * \pi(e - r) - \beta \tag{5}$$

$$\begin{aligned}
 \text{De (2):} \quad & c'(e) = \beta - [\pi(e-r) * g'(e-r) + g(e-r) * \pi'(e-r)] \\
 & \beta - c'(e) = [\pi(e-r) * g'(e-r) + g(e-r) * \pi'(e-r)] \quad (6) \\
 \text{(6) en (5):} \quad & c'(e) + T = 0 \quad (7)
 \end{aligned}$$



La ecuación (7) indica que la fuente elegirá un nivel de emisiones tal que sus costos marginales de abatimiento sean iguales al nivel de impuesto. Lo anterior está de acuerdo con la teoría básica de los impuestos como instrumento económico para el control de la contaminación y no se constituye como un resultado novedoso en la literatura.

3.1.2. Selección del nivel de reporte

Siguiendo a Stranlund y Chávez (2000), y de manera análoga a su análisis, se tiene que dado un nivel de emisiones, una fuente reporta verdaderamente sus emisiones si y sólo si:

$$T \leq \pi(0) * g'(0) \quad (A)$$

Esto es, una fuente no tiene incentivos para mentir en su autorreporte, cuando el beneficio marginal de mentir, que está representado por lo que se ahorra en el pago del impuesto, es inferior al costo marginal de mentir. El costo marginal de mentir está determinado por el producto entre la probabilidad de que sea auditado, y por tanto descubierto en violación, y la sanción marginal impuesta. A continuación se intenta demostrar lo anterior:

$$\text{De (3):} \quad T - \pi(e-r) * g'(e-r) = g(e-r) * \pi'(e-r) - \beta \quad (8)$$

De (4) sabemos que si $r=e$, $\beta \geq 0$

Lo anterior en (6) y si $e=r$:

$$T - \pi(0) * g'(0) = g(0) * \pi'(0) - \beta \quad (9)$$

$$\text{y como } g(0)=0: \quad T = \pi(0) * g'(0) - \beta \quad (10)$$

Si $T > 0$ y $\beta \geq 0$, necesariamente $T \leq \pi(0) * g'(0)$ que era lo que se quería demostrar.

Se observa que este resultado es consistente con Harford (1991) cuando plantea que multas por mentir en el autorreporte, afectan sólo las decisiones de reporte.

3.1.3. Análisis de las probabilidades de auditoría

Si no hay autorreporte, en este modelo de análisis, no hay violaciones en el sistema. En este caso, la única manera para llevar a cabo la facturación es que la autoridad ambiental mida las emisiones de cada una de las fuentes. Esto implica que en la ausencia de autorreporte, la probabilidad de auditoría deber ser igual 1: $\pi''^r = 1$. De la ecuación [A] podemos obtener la probabilidad mínima de auditoría para garantizar cumplimiento con el autorreporte: π^r .

$$\pi^r = \frac{T}{g'(0)} \quad (11)$$

Como π^r es una probabilidad, su valor debe estar entre 0 y 1, $0 \leq \pi^r \leq 1$, y para que esto ocurra, según la ecuación [11]: $g'(0) \geq T$.

Si se asume que la sanción marginal por una violación en el autorreporte está dada como un determinado número de veces el monto del impuesto: $g'(0) = \gamma * T$ (por ejemplo, el doble del impuesto, $\gamma=2$) con $\gamma \geq 1$, se tiene de la ecuación [11]:

$$\begin{aligned}\pi^r &= \frac{T}{\gamma * T} \\ \pi^r &= \frac{1}{\gamma}\end{aligned}\tag{12}$$

En este caso, cuando se tienen factores de sanción marginal constantes $\gamma \geq 1$, la probabilidad de auditoría mínima para garantizar el cumplimiento, es entonces independiente del nivel de impuesto.

Si las sanciones por mentir en el autorreporte son un monto constante (es decir, una cantidad de unidades monetarias fijas), la probabilidad de auditoría varía con el nivel del impuesto: si aumenta el valor de la tasa de impuesto y las sanciones son constantes, aumenta el beneficio marginal por mentir creándose un incentivo para el no cumplimiento; para contrarrestar ésto, debe entonces aumentarse la probabilidad de auditoría, lo cual es consistente con el comportamiento esperado según la Ecuación (11).

Supongamos $g'(0) = \gamma * T$, donde $\gamma \geq 1$.

Ahora bien, si la probabilidad de auditoría con autorreporte está entre 0 y 1, $0 \leq \pi^r \leq 1$, y si la probabilidad de auditoría sin autorreporte es igual a 1, $\pi''^r = 1$, la consecuencia es que la probabilidad de auditoría con autorreporte es menor que la probabilidad de auditoría sin autorreporte: $\pi^r \leq \pi''^r$. Si suponemos que el costo unitario de las auditorías en los dos casos es el mismo, los costos de monitoreo serán menores en el caso de la presencia de autorreporte.

3.1.4. Valor del autorreporte

Si tenemos n fuentes reguladas bajo el sistema de impuestos a la contaminación, y el costo de una auditoría se representa por w , podemos obtener el valor que tiene el autorreporte VA .

Este valor VA se define como el ahorro en los costos totales de monitoreo cuando existe autorreporte; es decir, la diferencia entre los costos de monitorear todas las fuentes (para el caso en el que no existe autorreporte) y los costos de monitorear cierto número de fuentes (para el caso en el que existe autorreporte), número que está determinado por la probabilidad de auditoría π^r .

El costo de monitorear todas las fuentes cuando no existe autorreporte, CM''^r , está dado por el producto entre el número de fuentes a monitorear y el costo unitario de una auditoría. El costo de monitorear cierto número de fuentes determinadas cuando existe autorreporte, CM^r está dado por el producto entre el número total de fuentes, el costo unitario de una auditoría y la probabilidad de auditoría.

El VA será entonces:

$$\begin{aligned} VA &= CM'' - CM' \\ VA &= w^* n - w^* n^* \pi' \\ VA &= w^* n^* (1 - \pi') \end{aligned}$$

Si reemplazamos π' por $\frac{T}{g'(0)}$ obtenemos:

$$VA = w^* n^* \left(1 - \frac{T}{g'(0)}\right) \quad (13)$$

De (13) observamos:

- El valor del autorreporte es creciente en w . Esto es, si aumenta el costo de las auditorías, el ahorro en los costos de monitoreo por la presencia de autorreporte es cada vez mayor.
- Es decreciente en el nivel de impuestos siempre que $T < g'(0)$ y cuando $g'(0)$ es constante. La intuición detrás de este resultado es que si aumenta el monto de la tasa de impuesto T , aumenta la probabilidad de auditoría π' (ya que el beneficio marginal de mentir aumenta). Si π' aumenta, se acerca más a π'' lo que hace que la diferencia $(\pi'' - \pi')$ sea más pequeña. Por tanto el monto del ahorro en los costos de monitoreo, que está representado por el VA , también lo es.
- El valor del autorreporte es creciente en el número de fuentes. Cuando hay un mayor número de fuentes reguladas bajo este sistema, el ahorro en los costos de monitoreo es mayor por la presencia del autorreporte.
- Es creciente en el nivel de sanciones. A sanciones mayores, para obtener los mismos niveles de cumplimiento, la probabilidad de monitoreo π' se hace menor teniendo entonces un menor número de fuentes a auditar y por tanto un mayor ahorro en los costos de monitoreo. Si π' es menor, la diferencia $(\pi'' - \pi')$ se hace cada vez más grande, aumentando entonces el valor del autorreporte.

3.2. Modelo teórico 2. Violación en el autorreporte de emisiones contaminantes y en los límites máximos de contaminación permitidos

Existen casos en los cuales el diseño del instrumento económico es una combinación entre un sistema de impuestos y un sistema de estándares, y por tanto, un modelo teórico de fiscalización debe ser diferente al presentado en la sección anterior. Por ejemplo, el sistema de Tasas Retributivas diseñado en Colombia para el control de la contaminación hídrica presenta tales características: los decretos reglamentarios del instrumento económico tasas retributivas, consideran además del pago mismo del impuesto, un límite máximo en las emisiones de contaminantes, y refieren para estos límites los establecidos en el decreto 1594 de 1984.



Cada una de las fuentes tiene una función de costos de control de la contaminación $c(e)$ que es estrictamente decreciente y convexa en el nivel de emisiones: $c'(e) < 0; c''(e) > 0$.



Para este modelo 2, existen dos violaciones posibles: una violación en el autorreporte al igual que en el modelo 1, y una violación en las emisiones; ésta última ocurre cuando las emisiones de la fuente son mayores que las máximas establecidas en el decreto. Definamos como r las emisiones reportadas por la fuente a la autoridad ambiental. Estas emisiones reportadas a la autoridad pueden ser menores (o iguales) que las emisiones finales reales de la fuente a las cuales denominaremos e . En el caso de ser menores, tendríamos una violación equivalente a la diferencia entre las emisiones reportadas y las emisiones reales: $v_r = e - r$. El monto unitario que la fuente debe pagar por el concepto de impuesto, lo llamaremos T .

Definamos como l las emisiones máximas establecidas como estándar. Tenemos una violación en las emisiones v_e , en el caso en el cual las emisiones finales (e) superan las emisiones máximas. El tamaño de la violación verdadera en las emisiones está determinado por esta diferencia $v_e = e - l$.

Si una fuente reporta una violación en las emisiones, la violación verdadera v_e es mayor o igual a la reportada por la fuente ($r-l$). Lo anterior se puede expresar como: $e - l \geq r - l \geq 0$. Las fuentes son auditadas con una probabilidad que depende del tamaño reportado de violación, es decir $\pi(r - l)$.

Si una fuente reporta una violación en las emisiones, se le impone automáticamente una sanción que depende de la violación reportada $f(r - l)$. Si después de la auditoría la autoridad se da cuenta que mintió en el autorreporte, se impone una sanción $g(e - r)$ por mentir, y adicionalmente se le impone la sanción f correspondiente a las emisiones que no reportó: $f(e - l) - f(r - l)$. Las sanciones tienen las siguientes características: $g(0)=f(0)=0$; $g'(0)>0$, $f'(0)>0$. Las fuentes conocen la estrategia de fiscalización de la autoridad (esto es la probabilidad de auditoría y el monto de la sanción), y con base en ella eligen el nivel de emisiones finales y la cantidad de emisiones que reportan a la autoridad.

3.2.1. Selección del nivel de emisiones

El problema de la fuente es básicamente un problema de minimización de costos. La fuente busca minimizar la suma de los costos de abatimiento, los costos en los que debe incurrir por el pago del impuesto y las sanciones que se vería obligada a pagar en el caso de que sea descubierta en una violación tanto en las emisiones como en el autorreporte. Esto se representa a través de la Ecuación (1').

$$\begin{aligned} & \text{MIN}\{c(e) + T * r + f(r - l) + \pi(r - l) * [g(e - r) + f(e - l) - f(r - l)] \\ & \quad \text{s.t.} \\ & \quad e \geq r \geq l > 0 \end{aligned} \tag{1'}$$

La ecuación de Lagrange para (1') es:

$$\theta = c(e) + T * r + f(r - l) + \pi(r - l) * [g(e - r) + f(e - l) - f(r - l)] - \beta * (e - r) - \mu * (r - l)$$

Las condiciones de Kuhn-Tucker para esta optimización son:

$$\frac{\partial \theta}{\partial e} = c'(e) + \pi(r - l) * [g'(e - r) + f'(e - l)] - \beta = 0 \tag{2a'}$$

$$\frac{\partial \theta}{\partial l} = -f'(r-l) - \pi'(r-l) * [g(e-r) + f(e-l) - f(r-l)] - \pi(r-l) * [f'(e-l) - f'(r-l)] + \mu = 0 \quad (2b')$$

$$\frac{\partial \theta}{\partial r} = T + f'(r-l) + \pi'(r-l) * [g(e-r) + f(e-l) - f(r-l)] - \pi(r-l) * [g'(e-r) + f'(r-l)] + \beta - \mu = 0 \quad (2c')$$

$$\frac{\partial \theta}{\partial \beta} = r - e \leq 0; \beta > 0; \beta * (r - e) = 0 \quad (2d')$$

$$\frac{\partial \theta}{\partial \mu} = l - r \leq 0; \mu > 0; \mu * (l - r) = 0 \quad (2e')$$

Para obtener el nivel de emisiones elegido por la fuente, se manipulan las ecuaciones que corresponden a las ecuaciones de primer orden establecidas para esta minimización.

$$\text{De (2b') y (2c')} \quad T - \pi(r-l) * [f'(e-l) + g'(e-r)] + \beta = 0 \quad (3')$$

$$\text{De (2a')} \quad c'(e) = -\pi(r-l) * [f'(e-l) + g'(e-r)] + \beta \quad (4')$$

$$\text{De (3') y (4')} \quad c'(e) + T = 0$$

La ecuación (4') indica que la fuente elegirá un nivel de emisiones tal que sus costos marginales de abatimiento se igualen con el nivel de impuesto. El resultado no varía con respecto a la sección anterior.

3.2.2. Selección del nivel de reporte

Dado un nivel de emisiones, una fuente reporta verdaderamente sus emisiones si y sólo si:

$$T \leq \pi(r-l) * [g'(0) + f'(e-l)] \quad (A')$$

Una fuente no tiene incentivos para mentir en su autorreporte, cuando el beneficio marginal de mentir que está representado por lo que se ahoraría en el pago del impuesto, es inferior al costo marginal de mentir. El costo marginal de mentir está determinado por el producto entre la probabilidad de que sea auditado y por tanto descubierto en violación y la sanción marginal impuesta. Demostremos lo anterior:

De (2b'):

$$\pi'(r-l) * [g(e-r) + f(e-l) - f(r-l)] = -f(r-l) - \pi(r-l) * [f'(e-l) - f'(r-l)] + \mu \quad (5')$$

(5') en (2c'):

$$\begin{aligned} & T + f(r-l) + f'(r-l) - \pi(r-l) * [f'(e-l) - f'(r-l)] + \mu - \pi(r-l) * [g'(e-r) + f'(r-l)] + \beta - \mu \\ & T - \pi(r-l) * [g'(e-r) + f'(e-l)] + \beta = 0 \end{aligned} \quad (6')$$

Supongamos $r=e$, (reporte verdadero de emisiones)

$$T - \pi(r-l) * [g'(0) + f'(e-l)] + \beta = 0$$

y como $e=r$, implica que $\beta \geq 0$

$$T \leq \pi(r-l) * [g'(0) + f'(e-l)] \quad (7')$$

Queda demostrada entonces la ecuación (A').

3.2.3. Análisis de las probabilidades de auditoría

Si no hay autorreporte, la única manera para llevar a cabo la facturación es que la autoridad ambiental mida las emisiones de cada una de las fuentes. Esto implica que en la ausencia de autorreporte, la probabilidad de auditoría deberá ser igual a 1: $\pi^{nr} = 1$

De la ecuación (A') podemos obtener la probabilidad mínima de auditoría cuando hay autorreporte, π^r , para garantizar cumplimiento en las emisiones y en el reporte (Si la fuente cumple: $e=l$):

$$\pi^r = \pi(0) = \frac{T}{g'(0) + f'(0)} \quad (8')$$



Como π^r es una probabilidad, debe estar entre cero y uno, $0 \leq \pi^r \leq 1$, y para que esto ocurra: $g'(0) + f'(0) \geq T$. Ahora bien, si la probabilidad de auditoría con autorreporte está entre 0 y 1, $0 \leq \pi^r \leq 1$, y si la probabilidad de auditoría sin autorreporte es igual a 1, $\pi^{nr} = 1$, la consecuencia es que la probabilidad de auditoría con autorreporte es menor o igual que la probabilidad de auditoría sin autorreporte: $\pi^r \leq \pi^{nr}$. Si suponemos que el costo unitario de las auditorías en los dos casos es el mismo, los costos de monitoreo serán menores en el caso de la presencia de autorreporte.

3.2.4. Valor del autorreporte

Al igual que en el modelo 1, si tenemos n fuentes reguladas bajo el sistema de impuestos, y el costo de una auditoría se puede representar por w , podemos obtener el valor que tiene el autorreporte VA . El costo de monitorear todas las fuentes cuando no existe autorreporte CM^{nr} está dado por el producto entre el número de fuentes a monitorear y el costo unitario de una auditoría. El costo de monitorear cierto número de fuentes determinadas cuando existe autorreporte, CM^r está dado por el producto entre el número de fuentes, el costo unitario de una auditoría y la probabilidad de auditoría.

El VA será entonces:

$$VA = CM^{nr} - CM^r$$

$$VA = w * n - w * n * \pi^r$$

$$VA = w * n * (1 - \pi^r)$$

Si reemplazamos π^r por $\frac{T}{g'(0) + f'(0)}$ obtenemos:

$$VA = w * n * \left(1 - \frac{T}{g'(0) + f'(0)}\right) \quad (9')$$



De (9') observamos:

- El valor del autorreporte es creciente en w . Esto es, si aumenta el costo de las auditorías, el ahorro en los costos de monitoreo por la presencia de autorreporte es cada vez mayor.
- Es decreciente en el nivel de impuestos siempre que $T < (g'(0) + f'(0))$. La intuición detrás de este resultado es que si aumenta el monto del impuesto T , aumenta la probabilidad de auditoría π' (ya que el beneficio marginal de mentir aumenta). Si π' aumenta, se acerca más a π'' , lo que hace que la diferencia $(\pi'' - \pi')$ sea más pequeña y con el monto del ahorro en los costos de monitoreo que está representado por el VA .
- El valor del autorreporte es creciente en el número de fuentes. Cuando hay un mayor número de fuentes reguladas bajo este sistema, el ahorro en los costos de monitoreo es mayor por la presencia del autorreporte.
- Es creciente en el nivel de sanciones. A sanciones mayores, para obtener los mismos niveles de cumplimiento, la probabilidad de monitoreo π' se hace menor teniendo entonces un menor número de fuentes a auditar y por tanto un mayor ahorro en los costos de monitoreo: Si π' es menor, la diferencia $(\pi'' - \pi')$ se hace cada vez más grande, aumentando entonces el valor del autorreporte.

3.3. Modelo teórico 3. Violación por incumplimiento del pago del Impuesto

El modelo teórico que se presenta en esta sección, considera el no pago de la factura por impuestos a emisiones como una violación.

Cada una de las fuentes tiene una función de costos de control de la contaminación $c(e)$ que es estrictamente decreciente y convexa en el nivel de emisiones: $c'(e) < 0; c''(e) > 0$.

Para este modelo, existen dos violaciones posibles: una violación en el autorreporte al igual que en el modelo 1, y una violación por el no pago de la factura:

1. Violación en emisiones reportadas. Sea r las emisiones reportadas por la fuente a la autoridad ambiental. Estas emisiones reportadas a la autoridad, pueden ser menores o iguales que las emisiones finales reales de la fuente a las cuales denominamos e . En este caso, se tiene una violación v_r equivalente a la diferencia entre las emisiones reportadas (r) y las emisiones reales (e): $v_r = e - r$.
2. Violación por no pago. Si la fuente emite una cantidad e , el monto de su pago es igual al monto del impuesto (T) multiplicado por la cantidad de emisiones: $P = e * T$. La violación ocurre cuando el monto pagado (MP) es diferente de este nivel de pago exigido (P): $MP = \alpha * e * T$, siendo α una constante que indica la fracción de la factura que paga la fuente: $0 \leq \alpha \leq 1$.

Sean m las emisiones correspondientes al monto que pagó la fuente, es decir: $m = \frac{MP}{T}$.

Dado que: $MP = \alpha * e * T$, entonces $m = \alpha * e$, como se observa, la fuente termina pagando una fracción a de las emisiones totales (e).

Las fuentes son auditadas con una probabilidad que depende del tamaño de la violación en el pago, es decir, de la diferencia entre sus emisiones reportadas (r) y las que realmente pagó cuando canceló MP (m), es decir $\pi(r - m)$ ⁴.

Si una fuente no paga su factura completa, se le impone automáticamente una sanción que depende del tamaño de la violación en el pago: $f(r - m)$. Si después de la auditoría la autoridad se da cuenta que además esta fuente mintió en el autorreporte, se impone una sanción $g(e - r)$ y adicionalmente se le impone la sanción f correspondiente a las emisiones que no reportó y por tanto no pagó: $f(e - m) - f(r - m)$. Las sanciones tienen las siguientes características: $g(0)=f(0)=0$; $g'(0)>0$, $f'(0)>0$.

Al igual que en los modelos anteriores, las fuentes conocen la estrategia de fiscalización de la autoridad y con base en eso toman sus decisiones.

El problema de la fuente es básicamente un problema de minimización de costos. La fuente busca minimizar la suma de los costos de abatimiento, los costos en los que debe incurrir por el pago del impuesto y las sanciones que se vería obligada a pagar en el caso de que sea descubierta en violación

$$\begin{aligned} & \text{MIN}\{c(e) + T * r + f(r - m) + \pi(r - m) * [g(e - r) + f(e - m) - f(r - m)] \\ & \text{s.t.} \\ & e \geq r \geq m > 0 \end{aligned}$$

La ecuación de Lagrange para (1*) es:

$$\theta = c(e) + T * r + f(r - m) + \pi(r - m) * [g(e - r) + f(e - m) - f(r - m) * (e - r)] - \beta * (e - r) - \mu * (r - m)$$

Se observa que el problema de minimización planteado es análogo al planteado en el modelo dos y por tanto su solución sigue la misma ruta del modelo anterior en cuanto a la obtención de selección del nivel de emisiones, de la probabilidad de auditoría y del valor del autorreporte.

4. RESULTADOS DE LAS SIMULACIONES

Para el desarrollo de las simulaciones teóricas, se desarrolló una hoja de cálculo en Excel⁴. Dado que no se cuenta con información real para una cuenca o un tramo de ella en cuanto a número de fuentes reguladas, ecuaciones de costo de abatimiento, costo de una auditoría, o sanciones por violación, se desarrollaron simulaciones hipotéticas para verificar la consistencia de los resultados arrojados por el modelo desarrollado. En el anexo 1 se presentan las formas funcionales empleadas en la simulación.

3. El lector debe tener cuidado de no confundir una violación en el autorreporte que es cuando la fuente miente acerca de sus emisiones, con una violación en el pago. Cuando se da una violación en el pago, la fuente puede haber reportado la totalidad de las emisiones, pero paga sólo parte de la factura.

4. A partir de esta hoja de cálculo se hacen las simulaciones; con los resultados de las simulaciones se construyen las figuras que se presentan en esta sección. Para obtener la hoja de cálculo, comunicarse con la autora de este artículo.

4.1. Simulaciones del modelo teórico 1.

Las simulaciones se desarrollaron para dos casos:

1. Caso en el cual las sanciones marginales por violación en el autorreporte se determinan como un $g'(0) = \gamma * T$.
2. Caso en el cual las sanciones marginales por violación en el autorreporte son un monto constante; con la restricción de que estos montos deben ser iguales o mayores al monto de la tasa de impuesto determinada en la hoja de cálculo desarrollada.

Para cada uno de estos casos, se analizaron los siguientes escenarios:

1. Escenario 1. Variación en las metas de reducción (es decir, cómo reaccionan las variables ante cambios en las metas de descontaminación propuestas por la autoridad ambiental)
2. Escenario 2. Variación en los costos de auditoría
3. Escenario 3. Variación en la sanción por violación en el autorreporte.

4.1.1. Caso 1. Escenario 1: Sanción marginal como un factor que multiplica el impuesto. Variación en las metas de reducción

En la Figura 1 que se muestra a continuación, se presentan los resultados obtenidos de la simulación para diferentes metas de reducción. Se observa que el monto de la tasa de impuesto a cobrar es creciente en el nivel de reducción deseado, a medida que éste aumenta, el monto de la tasa a cobrar también debería crecer. La probabilidad de monitoreo, el número total de fuentes a auditar y el valor del autorreporte son constantes para todas las metas de reducción. Lo anterior es lógico ya que la meta de reducción sólo podría influir en estas variables a través del monto del impuesto, pero como se están considerando factores ($g'(0) = \gamma * T$), el monto del impuesto desaparece de estas variables y no tiene influencia sobre ellas. (Ver ecuaciones (12) y (13)).

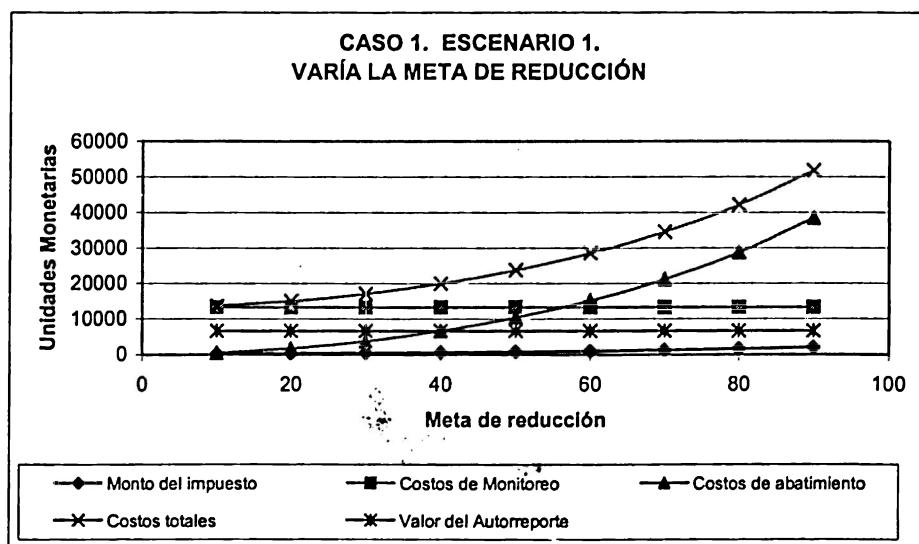


Figura 1.
Resultados de las simulaciones.
Modelo 1. Caso 1 Escenario 1.
Fuente: Elaboración propia

Los costos de monitoreo en este caso son constantes; lo que es coherente con el modelo teórico si consideramos que los costos de monitoreo se obtienen como el producto entre el número total de fuentes a auditar (que son el producto entre el número total de fuentes existentes y la probabilidad mínima de auditoría) y el costo de la auditoría, variables que permanecen constantes a lo largo de la simulación. Puede observarse que tanto los costos de abatimiento como los costos totales (que son la suma de los costos de abatimiento y los costos de monitoreo, es decir, son el costo total de la regulación) son crecientes en la meta de reducción. Es decir: a medida que la regulación se hace más estricta, los costos en los que deben incurrir las fuentes para descontaminar aumentan y por tanto los costos totales también.

4.1.2. Caso 1. Escenario 2: sanción marginal como un factor que multiplica el impuesto. Variación en el costo de la auditoría

En la Figura 2 mostrada a continuación, se presentan los resultados obtenidos de la simulación para diferentes costos de auditoría. Se observa que el monto del impuesto a cobrar es constante con el costo de la auditoría, lo que es lógico ya que son dos variables independientes. La probabilidad de monitoreo, el número total de fuentes a auditar y los costos de abatimiento también son independientes del costo de la auditoría. Los costos de monitoreo en este caso son crecientes con el costo de la auditoría; a medida que aumenta el costo de visitar una fuente aumentan los costos totales de monitoreo y por tanto la suma de los costos de monitoreo y los costos de abatimiento es creciente en el costo de la auditoría. A medida que el costo de la auditoría aumenta, el valor del autorreporte aumenta, lo que es coherente ya que si hacer una visita a las fuentes es más costoso, el ahorro en costos de monitoreo determinado por el autorreporte es cada vez mayor.

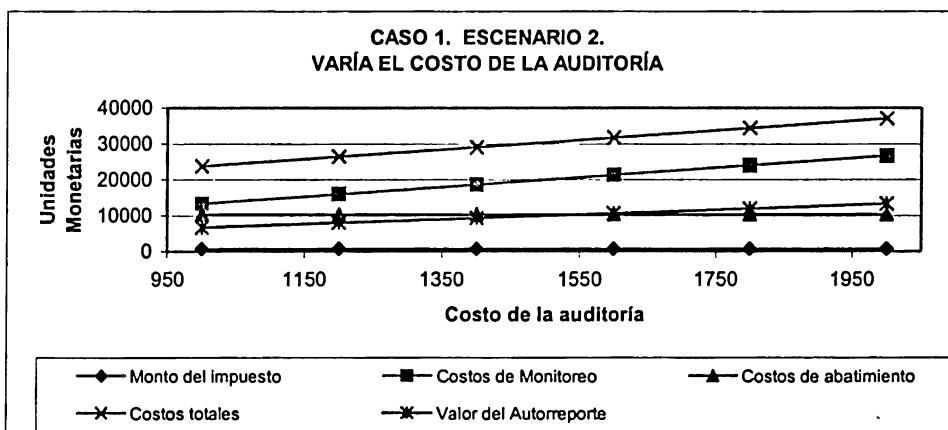


Figura 2.
Resultados de las simulaciones.
Modelo 1. Caso 1 Escenario 2.
Fuente: Elaboración propia

En la Figura 3 mostrada a continuación se presentan los resultados obtenidos de la simulación para diferentes costos de auditoría.

Se observa que el monto de la tasa a cobrar es constante con el factor de sanción marginal, lo que es lógico ya que son dos variables independientes, al igual que los costos de abatimiento.

A medida que aumenta el factor de sanción marginal por violación, disminuyen las probabilidades de monitoreo. Esto es lógico ya que si las sanciones aumentan, para mantener el mismo nivel de cumplimiento puede reducirse el número de fuentes a auditar. Dado que el número de fuentes a auditar es decreciente, los costos de monitoreo también son decrecientes y por tanto los costos totales. Esto es coherente con Field (2003) quien argumenta que si las sanciones son bajas, los costos de fiscalización aumentan.

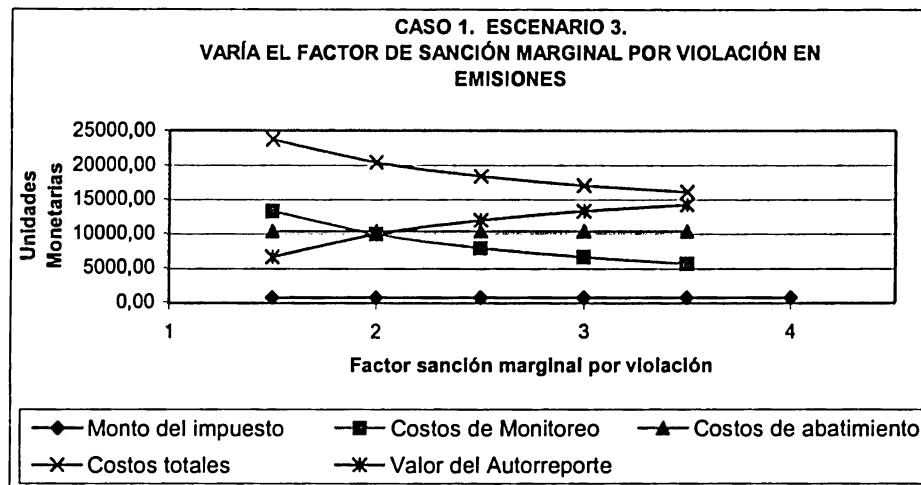


Figura 3.
Resultados de las simulaciones.
Modelo 1. Caso 1 Escenario 3.
Fuente: Elaboración propia

El valor del autorreporte aumenta, ya que cuando aumenta el factor de sanción marginal, disminuye la necesidad de auditar ciertas fuentes, y por tanto el ahorro en los costos de monitoreo es cada vez mayor.

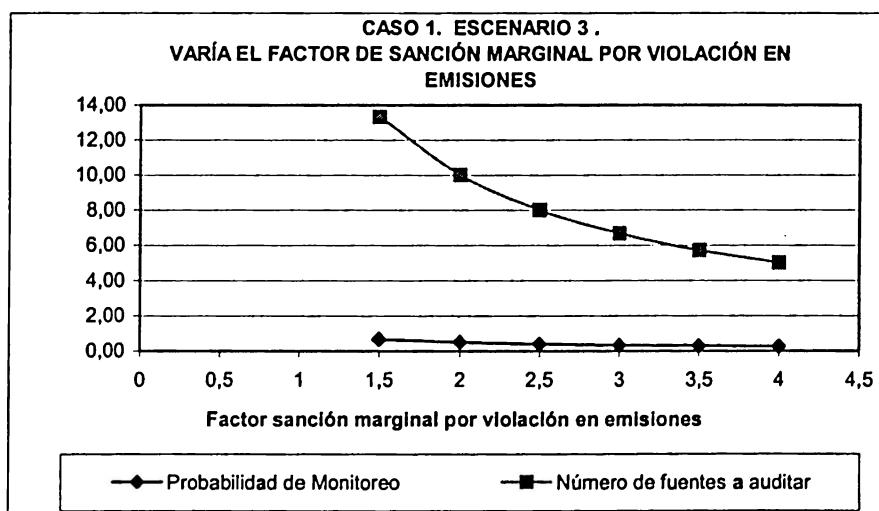


Figura 4.
Resultados simulaciones. Modelo 1.
Caso 1 Escenario 3.
Fuente: Elaboración propia

4.1.4. Caso 2. Escenario 1: sanción marginal constante. Variación en las metas de reducción

En la Figura 5 se presentan los resultados obtenidos de la simulación para diferentes costos de auditoría.

Se observa que el monto de la tasa a cobrar es creciente en el nivel de reducción deseado, a medida que éste aumenta, el monto de la tasa a cobrar también debería crecer.

La probabilidad de monitoreo y el número total de fuentes a auditar son crecientes en la meta de reducción, mientras más estricta la regulación mayor requerimiento de control; esto hace

que los costos de monitoreo sean crecientes también. Field (2003) menciona que normas ambientales más estrictas exigen mayores grados de fiscalización; esto se corrobora en estas simulaciones. Es necesario analizar cómo esta afirmación de Field es válida dependiendo de cómo se determine el monto de las sanciones. Se observa que si las sanciones son función de la tasa retributiva, esto no es válido, aunque el autor en páginas posteriores argumenta que los costos de fiscalización dependen de las sanciones. A medida que aumenta la meta de reducción, las fuentes deben hacer mayores esfuerzos de descontaminación lo que también se traduce en costos de abatimiento mayores. Si los costos de monitoreo y de abatimiento aumentan, los costos totales también aumentan. El valor del autorreporte es decreciente en la meta de reducción por lo siguiente: a medida que la regulación se hace más estricta, hay una mayor necesidad de control sobre las fuentes, por lo tanto el ahorro en los costos de monitoreo es cada vez menor.

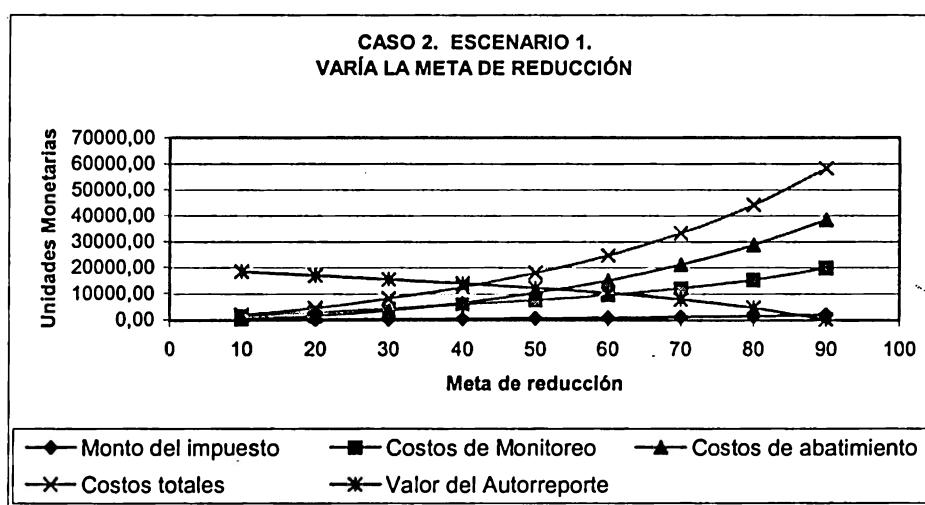


Figura 5.
Resultados de las simulaciones.
Modelo 1. Caso 2 Escenario 1.
Fuente: Elaboración propia

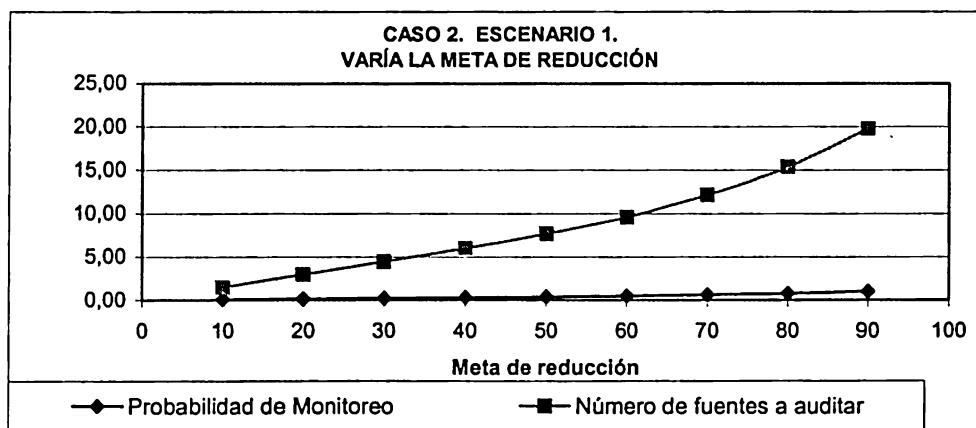


Figura 6.
Resultados de las simulaciones.
Modelo 1. Caso 2 Escenario 1.
Fuente: Elaboración propia

4.1.5. Caso 2. Escenario 2: sanción marginal constante. Variación en los costos de auditoría

En la Figura 7 mostrada a continuación se presentan los resultados obtenidos de la simulación para diferentes costos de auditoría. Se observa que el monto de la tasa a cobrar, la probabilidad de monitoreo y el número de fuentes a auditar son constantes. Esto es: son independientes del costo de la auditoría. El costo de la auditoría está directamente relacionado con los costos de monitoreo que aumentan a medida que el primero aumenta. Este comportamiento es seguido por los costos totales que aumentan ya que los costos de monitoreo son crecientes. A medida que el costo de la auditoría se hace mayor, el ahorro en costos de monitoreo por la presencia del autorreporte también es mayor, por tanto el valor del autorreporte es creciente.

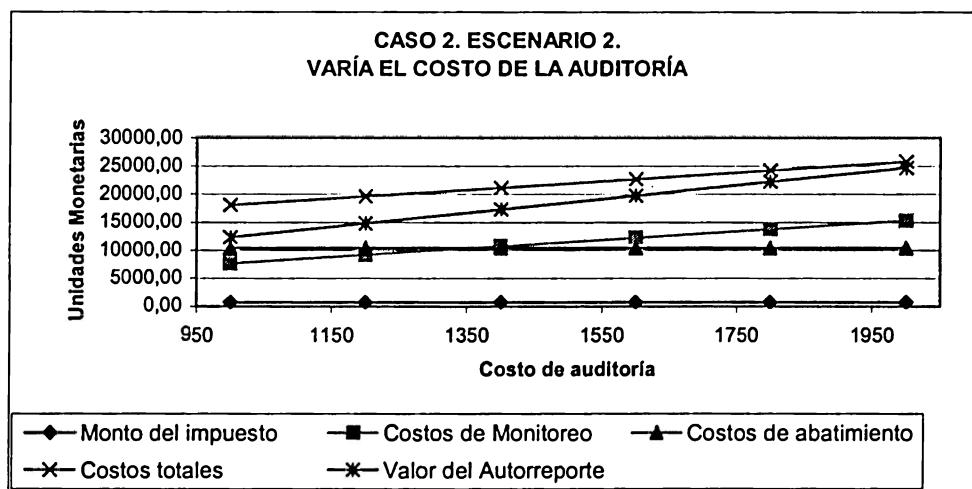
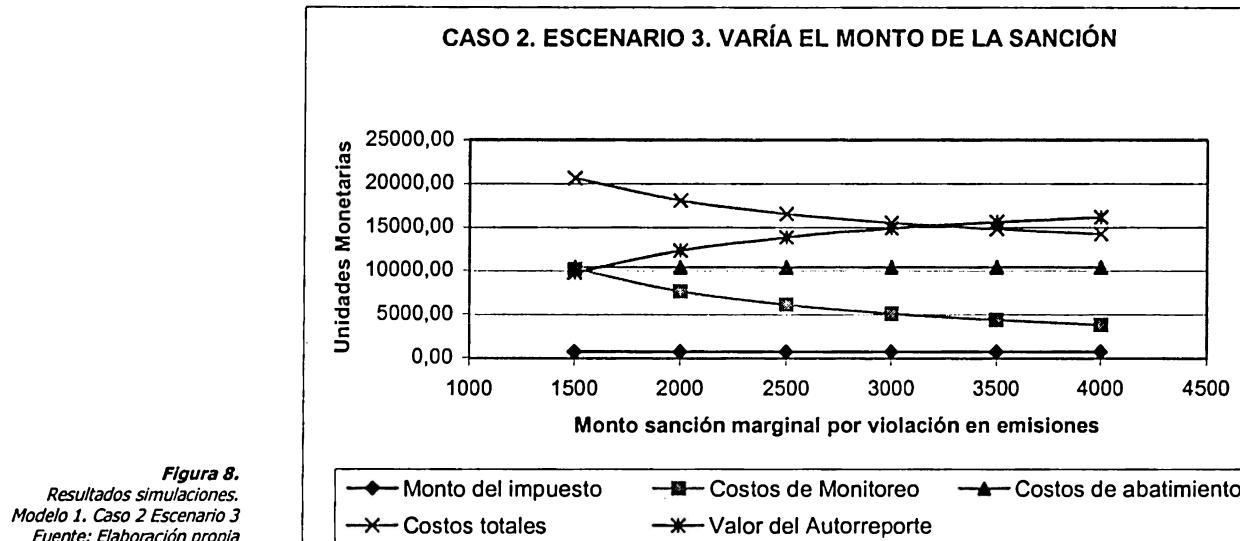


Figura 7.
Resultados de las simulaciones.
Modelo 1. Caso 2 Escenario 2.
Fuente: Elaboración propia

4.1.6. Caso 2. Escenario 3. Sanción marginal constante. Variación en el monto de la sanción

Como se observa en la Figura 8, en este escenario, la probabilidad de monitoreo y el número de fuentes a auditar son decrecientes a medida que aumenta el monto de la sanción; esto es lógico ya que a mayores sanciones, se requiere menor esfuerzo de monitoreo para garantizar el mismo nivel de cumplimiento. Dado que el número de fuentes a auditar disminuye, los costos de monitoreo se hacen cada vez menores, y como los costos de abatimiento son constantes, los costos totales también son decrecientes. Cuando cada vez se tienen menos fuentes para auditar, el ahorro en los costos de monitoreo es cada vez mayor y por tanto el valor del autorreporte es creciente en el monto de la sanción. Se verifica lo reportado en la literatura: a sanciones menores, los costos de fiscalización (representados aquí por los costos de monitoreo) aumentan.



4.2. Simulaciones modelo teórico 2

En el anexo 2 se presentan las Figuras que muestran los resultados de las simulaciones en este modelo teórico. Se observa que las tendencias en las variables son iguales a las observadas para el modelo teórico 1. Si se observan los resultados del modelo teórico en el que se consideran violaciones a las emisiones, y las del modelo en que se consideran violaciones por no pago o pago parcial de las obligaciones tributarias por concepto de pago de tasa retributiva, se observa que éstos son análogos. Por lo anterior, las simulaciones realizadas para el modelo dos pueden ser válidas para el análisis del modelo tres y no se repiten en esta sección.

4.2. Resumen de los resultados de las simulaciones

En la Tabla 1 puede observarse que el comportamiento de las variables principales analizadas es igual para los tres modelos teóricos planteados. El comportamiento de estas variables sólo difiere al interior de cada modelo cuando varían los casos y los escenarios. Por ejemplo, en el caso en el cual las sanciones marginales por violación en el autorreporte son un determinado número de veces el impuesto (Caso uno), los costos de monitoreo son constantes cuando crecen las metas de reducción de la contaminación (Escenario 1). En el caso en el que las sanciones marginales por violación en el autorreporte son un monto constante (Caso 2), los costos de monitoreo son crecientes cuando aumentan las metas de reducción.

Malik (1993) analiza el efecto del autorreporte en los costos de fiscalización. El autor argumenta que cuando el costo de monitoreo es alto, el autorreporte disminuye los costos. Esto en términos del presente artículo significa que el valor del autorreporte y los costos de monitoreo deben variar en el mismo sentido. Esto no se verifica en todos los casos ya que el valor del autorreporte es función del costo de auditoría, del número de fuentes a auditar, del monto del impuesto y de las sanciones marginales; por tanto el valor del autorreporte depende en gran medida de la forma como se constituyan las sanciones.

CASO	ESCENARIO	VARIABLE	MODELO		
			1	2	3
CASO 1 (Sanciones marginales por violación como un determinado número de veces el monto del impuesto)	Escenario 1 (Variación en metas de reducción)	Monto del impuesto	Creciente	Creciente	Creciente
		Costos de Monitoreo	Constante	Constante	Constante
		Costos de Abatimiento	Creciente	Creciente	Creciente
	Escenario 2 (Variación en los costos de auditoría)	Costos Totales	Creciente	Creciente	Creciente
		Valor del Autorreporte	Constante	Constante	Constante
		Monto del impuesto	Constante	Constante	Constante
	Escenario 3 (Variación en la sanción por violación)	Costos de Monitoreo	Creciente	Creciente	Creciente
		Costos de Abatimiento	Constante	Constante	Constante
		Costos Totales	Decreciente	Decreciente	Decreciente
CASO 2 (Sanción marginal como un monto constante)	Escenario 1 (Variación en metas de reducción)	Valor del Autorreporte	Decreciente	Decreciente	Decreciente
		Monto del impuesto	Creciente	Creciente	Creciente
		Costos de Monitoreo	Creciente	Creciente	Creciente
	Escenario 2 (Variación en los costos de auditoría)	Costos de Abatimiento	Creciente	Creciente	Creciente
		Costos Totales	Creciente	Creciente	Creciente
		Valor del Autorreporte	Decreciente	Decreciente	Decreciente
	Escenario 3 (Variación en la sanción por violación)	Monto del impuesto	Constante	Constante	Constante
		Costos de Monitoreo	Decreciente	Decreciente	Decreciente
		Costos de Abatimiento	Constante	Constante	Constante
		Costos Totales	Decreciente	Decreciente	Decreciente
		Valor del Autorreporte	Creciente	Creciente	Creciente

Tabla 1.
Cuadro resumen de resultados simulaciones.

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados de las simulaciones

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En esta investigación se propone un modelo teórico de fiscalización donde se analizan tres tipos de violaciones: violación en el autorreporte, violación en las emisiones y violación en el pago del impuesto. De los tres modelos teóricos y las simulaciones desarrolladas, se concluye que la fuente efectúa un análisis de minimización de costos para decidir su nivel de emisiones. Como es estándar en la literatura, el nivel de emisiones coincide con aquel punto en el cual los costos marginales de reducción igualan el nivel de impuesto, siendo entonces éste un resultado esperado.

En el modelo teórico en el que se analiza la violación en el autorreporte de emisiones contaminantes, para decidir el nivel de emisiones que reporta, la fuente no tiene incentivos para mentir cuando el beneficio marginal de mentir, que está representado por lo que se ahorraría en el pago de la tasa, es inferior al costo marginal de mentir que es el producto entre la probabilidad de ser descubierto en violación y la sanción impuesta. De lo anterior se deduce la importancia de la determinación de las sanciones y las probabilidades de auditoría.

Cuando se tienen las sanciones marginales como un determinado número de veces el monto del impuesto, la probabilidad mínima de auditoría para garantizar completo cumplimiento, es independiente del monto del impuesto. Por el contrario, si las sanciones se constituyen como un monto constante, la probabilidad de auditoría varía con el nivel de la tasa.

Si aumenta el valor del impuesto y las sanciones son constantes, aumenta el beneficio marginal por mentir creándose un incentivo para el no cumplimiento. Para contrarrestar lo anterior, debe entonces aumentarse la probabilidad de auditoría.

El ahorro en los costos totales de monitoreo cuando existe autorreporte tiene las siguientes características en este caso: si aumenta el costo de las auditorías, este ahorro es mayor al igual que si aumenta el número de fuentes reguladas y/o si aumenta el nivel de sanciones.

Pero la única violación posible no es en el autorreporte. Por lo anterior se plantea otro modelo teórico que considera dos posibles violaciones: una violación en el autorreporte, y una violación en las emisiones, es decir, cuando la fuente emite una cantidad mayor que la establecida por la norma y adicionalmente miente en el reporte de las mismas. La decisión de la cantidad de vertimientos que la fuente reporta, es análoga al modelo anterior; la fuente no tiene incentivos para mentir en su autorreporte, cuando el beneficio marginal de mentir, que está representado por lo que se ahorraría en el pago del impuesto, es inferior al costo marginal de mentir. El costo marginal de mentir en este modelo difiere del anterior; en este caso, dicho costo está determinado por el producto entre la probabilidad de que sea auditado y la sanción marginal impuesta que es la suma de las sanciones marginales por violación en el autorreporte y en las emisiones.

La probabilidad mínima de auditoría está determinada por la razón entre el monto unitario de la tasa retributiva y la suma de las sanciones marginales por violación. Dicha suma, debe ser superior al monto unitario de la tasa. El ahorro en los costos totales de monitoreo cuando existe autorreporte tiene las siguientes características en este caso: si aumenta el costo de las auditorías, este ahorro es mayor al igual que si aumenta el número de fuentes reguladas o si aumenta el nivel de sanciones, al igual que en el modelo anterior.

Se presenta adicionalmente un tercer modelo, en el que se consideran dos violaciones posibles: violación en el autorreporte al igual que en el modelo 1, y violación por no pago de la factura. En esta última violación, se asume que la fuente puede pagar una parte de la factura constituyéndose ésto como una violación también al no pagar la totalidad de la misma. La decisión de la cantidad de vertimientos que la fuente reporta, es análoga al modelo anterior; la fuente no tiene incentivos para mentir en su autorreporte, cuando el beneficio marginal de mentir, que está representado por lo que se ahorraría en el pago de la tasa retributiva, es inferior al costo marginal de mentir. El costo marginal de mentir en este modelo difiere del anterior; en este caso, dicho costo está determinado por el producto entre la probabilidad de que sea auditado y la sanción marginal impuesta que es la suma de las sanciones marginales por violación en el autorreporte y en el pago.

La probabilidad mínima de auditoría está determinada por la razón entre el monto unitario de la tasa retributiva, y la suma de las sanciones marginales por violación. Dicha suma debe ser superior al monto unitario de la tasa.

El ahorro en los costos totales de monitoreo cuando existe autorreporte, tiene las siguientes características en este caso: si aumenta el costo de las auditorías, este ahorro es mayor al igual que si aumenta el número de fuentes reguladas o si aumenta el nivel de sanciones, al igual que en el modelo anterior. Se hace necesario efectuar un análisis de economía empírica que permita determinar con mayor precisión los factores determinantes de las violaciones, y de esta forma, dirigir acciones tendientes a elevar los porcentajes de cumplimiento de la regulación; para esto es necesario contar con información detallada de las fuentes, información que no todas las corporaciones tienen disponibles.

De los modelos teóricos y las simulaciones realizadas, se puede concluir que la tendencia en las variables de política depende de la manera como estén constituidas las sanciones, siendo entonces la fiscalización un elemento determinante en el desempeño y eficiencia de los instrumentos económicos para el control de la contaminación.



7. AGRADECIMIENTOS

La autora expresa sus agradecimientos al Profesor Carlos Chávez de la Universidad de Concepción en Chile por sus comentarios a las ideas del presente artículo. El trabajo se desarrolló en el marco del Proyecto DIME (Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín) : "Regulación de la Contaminación hídrica en Colombia: Capacidad institucional y niveles de cumplimiento".



ANEXO 1. FUNCIONES DE COSTO MARGINAL USADAS EN LAS SIMULACIONES

PARÁMETROS FUNCIONES DE COSTO MARGINAL DE ABATIMIENTO USADAS EN SIMULACIONES

Bajo el programa se encuentran reguladas 20 fuentes con diferentes funciones de costo marginal de abatimiento CM_i cuya especificación funcional es lineal, de la siguiente forma:

$$CM_i(e_i) = a_i * e_i + b_i$$

En esta especificación funcional a es la pendiente de la función ($a > 0$) y b es el intercepto ($b > 0$).

Fuente No	Emisiones iniciales (kg./día)	Pendiente (a)	Intercepto (b)
1	2,06	391,40	806,88
2	1,69	507,49	855,79
3	3,59	588,03	2108,89
4	4,83	373,00	1803,00
5	2,65	1038,09	2751,76
6	1,09	625,98	683,55
7	2,69	324,40	873,99
8	1,14	434,70	493,46
9	2,40	519,17	1244,67
10	1,96	507,89	993,84
11	5,47	422,47	2312,39
12	7,26	364,48	2644,66
13	4,13	548,70	2265,75
14	2,90	496,23	1438,73
15	2,88	520,00	1500,00
16	3,04	335,71	1019,00
17	2,36	1801,59	4246,27
18	0,82	1705,51	1394,93
19	1,59	1397,96	2229,03
20	0,88	1390,36	1226,82

Fuente: Elaboración propia

ANEXO 2. FIGURAS RESULTADOS DE SIMULACIONES MODELO TEÓRICO 2

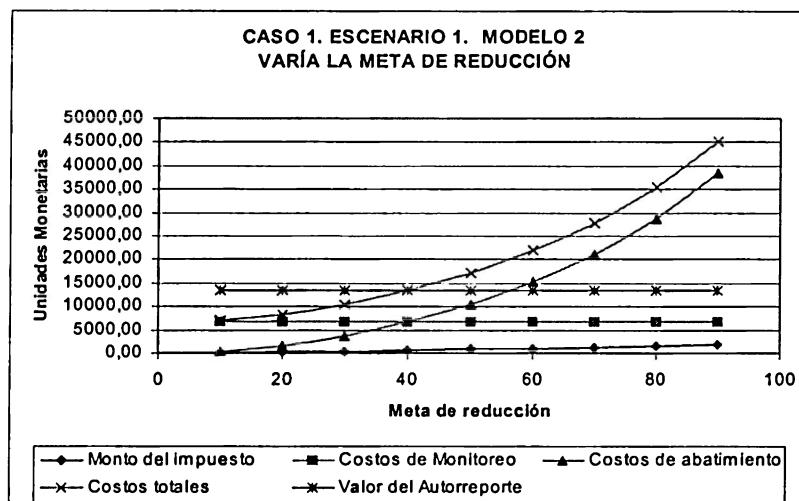


Figura 9.
Resultados de las simulaciones.
Modelo 2. Caso 1. Escenario 1.
Fuente: Elaboración propia

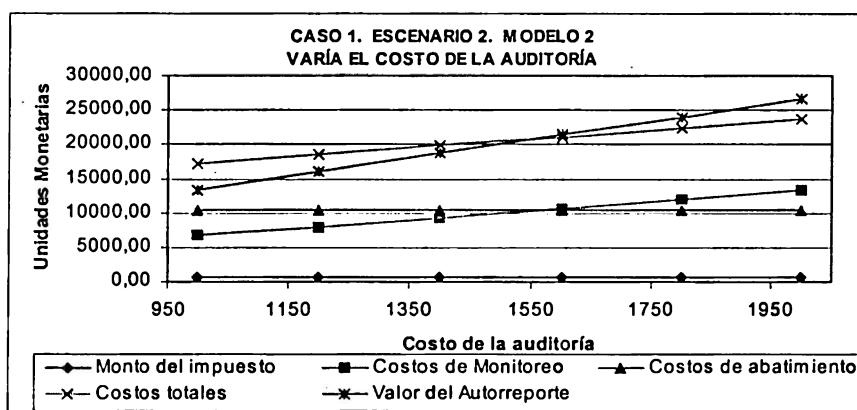


Figura 10.
Resultados de las simulaciones.
Modelo 2. Caso 1. Escenario 2.
Fuente: Elaboración propia

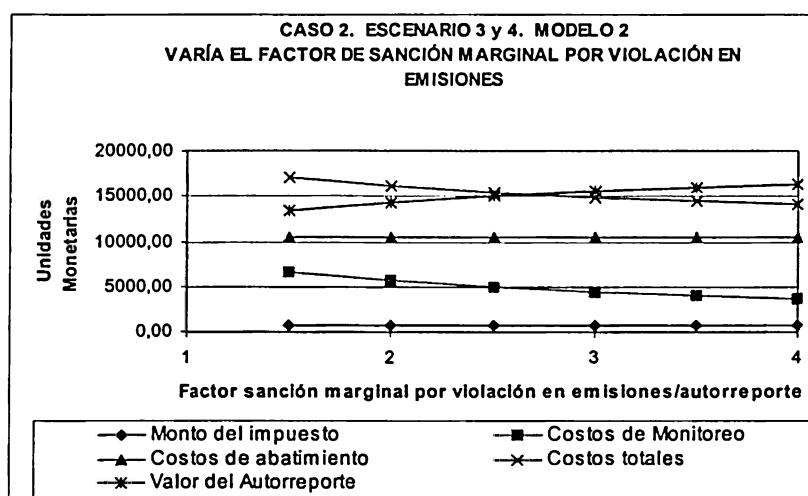


Figura 11.
Resultados de las simulaciones.
Modelo 2. Caso 1. Escenario 3.

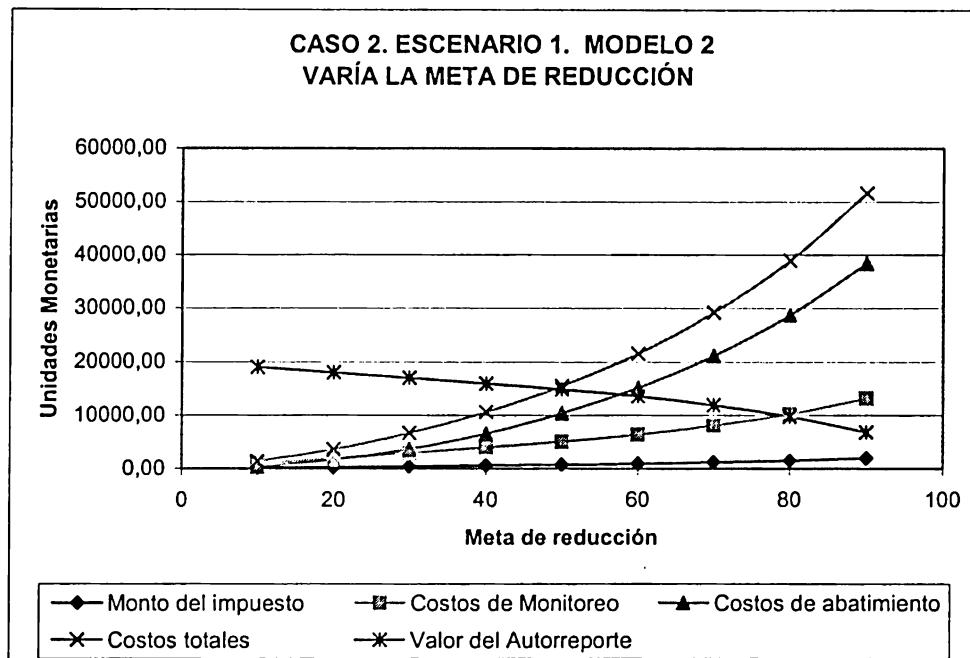


Figura 12.
Resultados de las simulaciones.
Modelo 2. Caso 2. Escenario 1.
Fuente: Elaboración propia

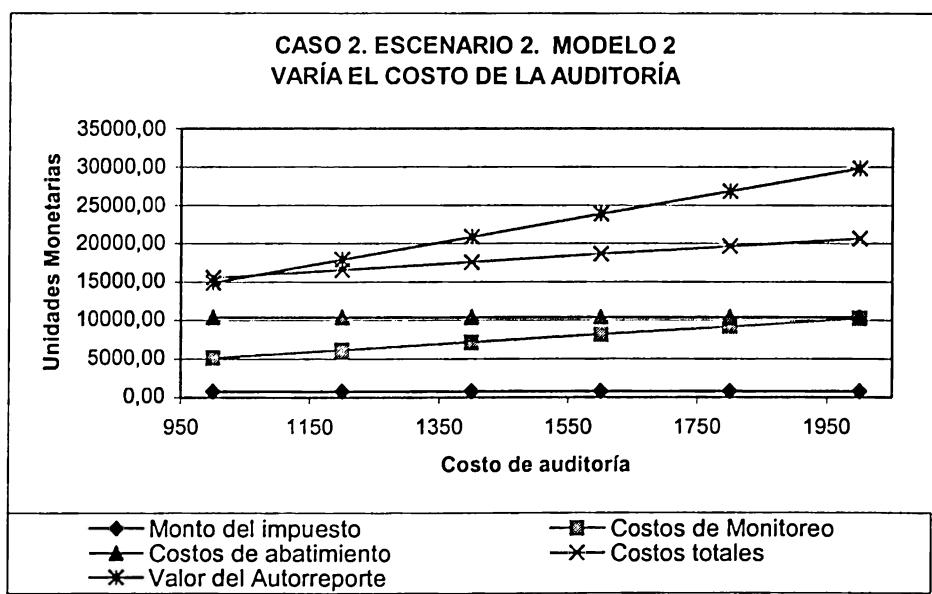


Figura 13.
Resultados de las simulaciones.
Modelo 2. Caso 2. Escenario 2.
Fuente: Elaboración propia

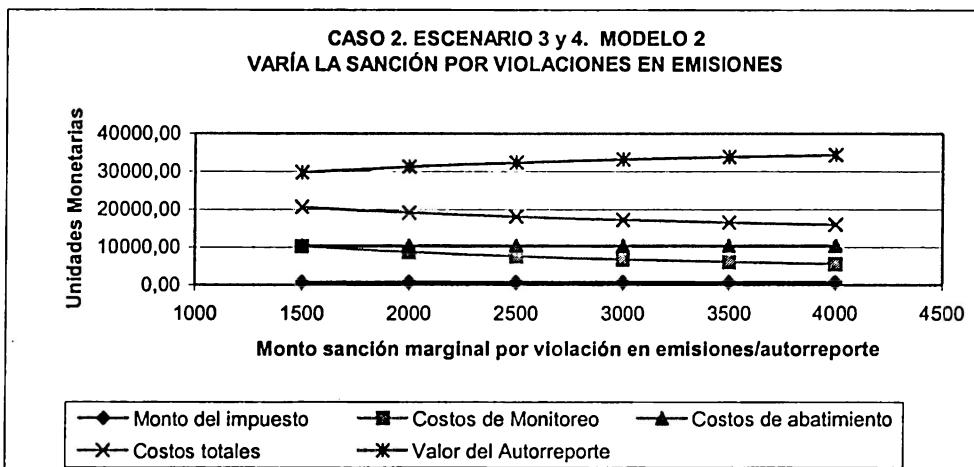


Figura 14.
*Resultados de las simulaciones.
 Modelo 2. Caso 2. Escenario 3
 y 4*
Fuente: Elaboración propia

8. BIBLIOGRAFIA

- Arora, S. y Cason, T., 1996. Why do firms volunteer to exceed Environmental regulations understanding participation in EPA's 33/50 Program land economics 72(4), pp.413-32.
- Brooks, N. y Sethi, R., 1997. The distribution of pollution: Community characteristics and exposure to air toxics En: Journal of environmental economics and management. 32, pp. 233-250.
- Cohen, M. A., 1998. Monitoring and enforcement of environmental policy. Vanderbilt University.
- Malik, A.S., 1993. Self-Reporting and the design of policies for regulation stochastic pollution. En: Journal of Environmental Economics and Management 24(3), pp. 241-257.
- McKean, R.N., 1980. Enforcement costs in environmental and safety regulation. Policy-Analysis 6(3), pp. 269-289.
- Harford, J.D. y Harrington, W., 1991. A reconsideration of enforcement leverage when penalties are restricted. En: Journal of Public Economics 45(3), pp. 391-95.
- Harrington, W., 1988. Enforcement leverage when penalties are restricted. En: Journal of Public Economics 37, pp. 29-53.
- Hettige, M., Pargal, S., Singh, M., y Wheeler, D., 1996. Formal and informal regulation of industrial pollution: Comparative evidence from indonesia and the U.S. World Bank policy research working Paper.
- Konar, S. y Cohen, M.A., 1998. Why do firms pollute (and reduce) toxic emission?. Working paper. Owen graduate school of management, Vanderbilt University.
- Pargal, S. y Wheeler, D., 1996. Informal regulation in developing countries: Evidence from Indonesia. En: Journal of Political Economy 104, 1314 p.
- Russell, C.S., Harrington, W. y Vaughn, W.J., 1986. Enforcing pollution control laws. Resources for the Future.
- Stranlund, J.K y Chavez, C.A., 2000. Effective enforcement of a transferable emissions permit system with a self-reporting requirement. En: Jorunal od regulatory economics; 18:2. pp. 113-131.

