

**UN MODELO DE EQUILIBRIO GENERAL PARA EL ANALISIS DE LAS
POLITICAS AMBIENTALES EN COLOMBIA**

INFORME FINAL DE INVESTIGACION

**Presentado a FONADE y a la Unidad de Política Ambiental
Departamento Nacional de Planeación**

JUAN MAURICIO RAMIREZ

SERGIO PRADA RIOS

Fedesarrollo

Santafé de Bogotá, Septiembre 28 de 1995

INTRODUCCION

El siguiente es el informe final del proyecto de investigación “Un Modelo de Equilibrio General para el Análisis de Políticas Ambientales en Colombia”. El informe está estructurado de la siguiente forma:

En la primera parte se expone el resumen y las conclusiones de la investigación a manera de resumen ejecutivo.

En la segunda parte se desarrolla el marco teórico de la investigación, que con algunas modificaciones, fué presentado en el Informe de Avance de la investigación. En esta parte se demarcan los límites del modelo dentro del conjunto de opciones de modelación que se discuten. A este respecto, conviene tener en cuenta el análisis que se hace en las conclusiones del informe acerca de posibles desarrollos y extensiones del modelo.

La tercera sección presenta los principios y las metodologías que utiliza el modelo para hacer los análisis de incidencia de la política ambiental. Allí se exponen tanto el tipo de políticas que pueden ser simuladas con el modelo, como el tipo de mediciones que efectúa con el fin de comparar los resultados de las políticas.

La cuarta parte del informe contiene la descripción del modelo tanto en su parte contable, como con respecto a las opciones de modelación. Se debe anotar que existen diferencias significativas entre esta versión del modelo y la que se presentó en el informe de avance, tanto en el modelo real como en el modelo de emisiones.

La quinta sección presenta las principales simulaciones y sus resultados. Dichas simulaciones se refieren a la aplicación de políticas directas o indirectas de regulación ambiental como el ajuste en los precios de los combustibles, la imposición de tasas por contaminación a nivel de los sectores industriales, el impacto ambiental de políticas macroeconómicas como es la

devaluación de la tasa de cambio, y otras políticas como el incremento en el precio de los automóviles por la imposición de convertidores catalíticos.

En todos los casos, los impactos de las políticas son analizados en tres niveles: a) a nivel macroeconómico, se analiza el efecto sobre crecimiento económico, la inflación, el balance fiscal, el balance externo, etc.; b) a nivel sectorial se analiza el impacto sobre la estructura industrial de la producción y de los precios; y c) a nivel de las emisiones contaminantes se analiza tanto los cambios en la estructura del uso de combustibles, como los cambios en emisiones atmosféricas, producción de residuos sólidos, y contaminación hídrica a nivel agregado y por sectores industriales.

En la sexta sección se sugieren algunos desarrollos del modelo para el futuro.

La documentación del modelo, con fines de operación y manejo práctico está contenida en el Anexo I. Allí se explican los diferentes archivos que componen el modelo, el orden de los programas, los procedimientos para efectuar simulaciones y los archivos de salida del modelo real y del modelo de emisiones.

I. RESUMEN EJECUTIVO

A. Utilización del Modelo para el Análisis Ambiental

El Modelo de Simulación de Políticas Ambientales que se ha desarrollado en esta investigación tiene dos características principales: la primera es el rol central de los precios como señales que los agentes económicos toman para definir sus acciones como consumidores y como productores. La segunda es que se trata de un modelo de corto plazo que toma en cuenta las rigideces y distorsiones que caracterizan las respuestas de los agentes económicos en la economía colombiana. Entre ellas están por ejemplo, la existencia de mercados oligopólicos en el sector industrial, la existencia de un mercado laboral urbano de “salario fijo”, o de cantidades producidas o exportadas que son exógenas en el sentido de que no pueden ser ajustadas en el corto plazo a cambios en los precios relativos, como es el caso de la producción de petróleo o las exportaciones de carbón.

El modelo debe ser visto por lo tanto como un primer desarrollo en el análisis de la forma como responden los agentes económicos, productores y consumidores, a la utilización de diferentes instrumentos directos o indirectos de política ambiental. El modelo que se ha desarrollado explora estas respuestas en términos de su efecto económico a través de variables como el crecimiento del PIB y del empleo, la inflación, los cambios sectoriales en precios y producción, el déficit del gobierno, etc., y de su efecto ambiental, a través de los cambios en emisiones contaminantes que afectan la calidad del aire, el suelo y los recursos hídricos.

Esa respuesta es evaluada sin embargo, en un horizonte de corto plazo, como ya se señaló. Esto significa que los cambios en emisiones como respuesta a la aplicación de políticas son el resultado de los ajustes de la actividad económica entre sectores de mayor y menor impacto contaminante, y a posibilidades de sustitución limitada entre diferentes fuentes

energéticas. Los consumidores reajustan la estructura de su gasto en la medida en que la política ambiental conlleva a cambios en los precios relativos de los bienes que constituyen su canasta de consumo. Los productores, dependiendo de múltiples circunstancias que son tomadas en cuenta en el modelo, transmiten una parte de los incrementos en costos asociados a la política ambiental a los precios de sus productos (es decir, parte del costo de la política lo paga finalmente el consumidor), y modifica el uso de insumos y su nivel de actividad productiva.

Naturalmente, la magnitud en la cual son afectados los costos es proporcional a la dependencia del sector con respecto al uso de insumos contaminantes como los combustibles. Por ejemplo, un incremento del 20% en el precio de la gasolina y los refinados genera un incremento del 0.5% en textiles, un sector con una menor dependencia relativa de estos combustibles, mientras que para un sector como minerales no metálicos (producción de cemento, cal, vidrio, yeso, etc.), con grandes requerimientos de consumo de combustibles, los costos se incrementan 6%, casi igual al incremento en los costos del transporte (7%).

Incrementos (%) en costos asociados a un aumento del 20% en el precio de los refinados

| | |
|------------------------|-----|
| Bebidas | 1,1 |
| Tabaco | 1,7 |
| Textiles | 0,5 |
| Papel | 0,8 |
| Químicos | 1,0 |
| Minerales No Metálicos | 6,0 |
| Industrias Metálicas | 0,5 |
| Maquinaria | 0,6 |
| Equipo de Transporte | 1,1 |
| Otras Manufacturas | 1,8 |
| Construcción | 2,0 |
| Servicios Modernos | 1,2 |
| Transporte | 7,5 |

B. Simulaciones de Políticas

En el trabajo se utiliza el modelo para simular el efecto sobre la economía y sobre el medio ambiente de diferentes políticas ambientales o de políticas con importantes implicaciones ambientales. Las políticas consideradas fueron:

- a) Incrementos en los precios de los combustibles y sustitución hacia gas en el consumo de combustibles¹.
- b) Ajustes de los precios de los combustibles a sus costos de oportunidad, analizando lo que ocurre cuando este ajuste de precios induce mejoras en eficiencia, y cuando se utilizan los recursos fiscales adicionales en programas de inversión pública compensatoria.
- c) Imposición de tasas (retributivas) por contaminación, distinguiendo entre tasas por contaminación hídrica, tasas por contaminación atmosférica, y tasas por generación de residuos sólidos².
- d) Impacto ambiental de políticas macroeconómicas: devaluación de la tasa de cambio.
- e) Incremento en el precio de los vehículos por imposición de controles a las emisiones.

¹ Aunque se hicieron experimentos de incrementar el precio de cada uno de los combustibles más importantes (refinados, petróleo, carbón, gas natural), en este informe sólo se reporta el caso del incremento en los precios de los refinados (gasolina) por considerarlo de mayor interés, y de mayor impacto.

² No se hizo el análisis de las tasas de uso de recursos forestales por cuanto el modelo, que está orientado al análisis de la contaminación industrial, no es adecuado para este fin. Adicionalmente, en el modelo el sector agropecuario está agregado -con el fin de poder desagregar el sector industrial-. Un esfuerzo dirigido a este análisis debe tomar en cuenta los efectos ambientales y económicos asociados a los cambios en el stock de bosques y la influencia de la política sobre dichos cambios.

En conjunto, las simulaciones que se realizaron con el modelo que en algunos casos se obtiene una reducción significativa de las emisiones, siempre y cuando los agentes económicos sean inducidos a ser más eficientes en el uso de los recursos, y de los energéticos en particular. Con todo, el costo en términos de crecimiento e ingreso real puede ser considerable. Reducir la polución en una tercera parte, involucrando ajustes de eficiencia, puede significar la pérdida de un punto de crecimiento del PIB. Pero este costo será indudablemente menor, si las políticas de incentivos implican en el largo plazo, la adopción de tecnologías de control y de procesos menos contaminantes.

Un estudio necesario, es por supuesto, el tratar de cuantificar la magnitud del cambio técnico de menor impacto contaminante inducido por la aplicación de las tasas por contaminación, y de otros instrumentos económicos. Desafortunadamente, se carece en este momento de la información necesaria y probablemente se requieren estudios a nivel de firma y en sectores específicos, para generar la información primaria que pueda ser posteriormente incorporada en el modelo.

a. Efectos de incrementos en los precios de los refinados

El impacto de un aumento del 20% en el precio de los productos refinados del petróleo (básicamente gasolina) depende crucialmente de si el incremento generado en los recursos fiscales se utiliza o no para aumentar el gasto público. Si dichos recursos no se utilizan para financiar gasto adicional, la medida tiene un marcado efecto recesivo (el PIB disminuye casi un punto porcentual). El impacto sobre inflación es marginal en razón a que al no incrementarse el gasto, no se validan las mayores expectativas inflacionarias generadas por el ajuste en el precio de la gasolina.

Como resultado de esta política, se observa una sustitución en el consumo de refinados hacia los otros combustibles, particularmente gas natural y carbón. Sin embargo, la magnitud de

esta respuesta depende crucialmente del grado de sustitución que existe en el uso de diferentes combustibles. El grado de sustitución es también fundamental para evaluar el impacto del incremento en el precio de los refinados sobre las emisiones atmosféricas: si los agentes económicos tienen la posibilidad de sustituir combustibles, las emisiones de óxidos de nitrógeno y óxidos de sulfuro se reducirían entre 3% y 5%, aunque podrían aumentar ligeramente las emisiones de partículas por un mayor uso de carbón mineral.

b. Ajustes de los precios de los combustibles a costos de oportunidad: eficiencia e inversión.

Es sabido que los precios de los energéticos, y en particular de los combustibles en Colombia, están distorsionados, tanto en nivel como en estructura, con respecto a sus verdaderos costos de oportunidad. El ajuste de los precios de los combustibles tiene un enorme efecto recesivo: el PIB disminuye 4% aunque la inflación es de sólo 1.12% en razón a la magnitud de la caída de la actividad económica.

La magnitud del ajuste se refleja en la estructura sectorial de la producción y de los precios. La producción del sector tabaco cae, por ejemplo, en 13% y los precios de los minerales no metálicos se aumentan en 17%. Con posibilidades de sustitución, el consumo de gas natural crece 28%, y en menor medida carbón (9%). Al mismo tiempo, las emisiones atmosféricas disminuyen entre 10% y 15%.

Si el ajuste de los precios a sus costos de oportunidad induce una mayor eficiencia en el uso de los recursos y particularmente de los combustibles, la contaminación atmosférica se reduce en casi una tercera parte. Al mismo tiempo, el impacto recesivo de los ajustes en los precios de los combustibles, es parcialmente contrarrestado: el PIB cae 1.97% en lugar de la caída de 4.3% que tendría lugar si no se realizan las mejoras en eficiencia. La reducción de costos que conlleva la mayor eficiencia es sorprendente en algunos casos: en el sector de minerales no metálicos por ejemplo, los precios no crecerían 18% sino 3.5%.

Si los recursos fiscales adicionales que se obtienen con el ajuste de los precios de los combustibles se utilizan para incrementar el gasto público en una magnitud equivalente, el PIB sólo disminuye en 0.8%. Esta cifra es comparable con el efecto que tiene un incremento del 20% en los precios de los refinados del petróleo. Pero más significativo es el hecho de que la reducción en las emisiones atmosféricas permanecen prácticamente iguales.

c. Incentivos Directos: Tasas por Contaminación

La aplicación de tasas por contaminación hídrica, no generaría sobre-costos significativos en la economía. Los resultados sectoriales muestran caídas inferiores al 0.02% en la producción bruta manufacturera. El impacto más grande sería sobre el sector Bebidas, con un incremento en los costos de 0.07% y una reducción en la producción bruta en una magnitud similar.

Por lo tanto, el impacto sobre el PIB y los ingresos fiscales es también marginal. El PIB disminuye en 0.01% y el superávit fiscal como proporción del PIB en 0.004%.

De otro lado, la aplicación de tasas por contaminación atmosférica generaría un incremento enorme en el pago de impuestos en cuatro sectores industriales: papel, químicos (100%), minerales no metálicos e industria metálicas. Este resultado sugiere, naturalmente, que el campo para la adopción de tecnologías y procesos de control en estos sectores sería bastante grande.

La aplicación de esta tasa tiene efectos considerables sobre la estructura industrial: la industria de papel e imprentas tiene una caída en la producción 3%, y la de minerales no metálicos y metálicos no elaborados del 4% mientras que los precios de este último sector 12%.

d. Políticas Macroeconómicas: Devaluación de la Tasa de Cambio

La devaluación tiene un efecto expansivo: un incremento de la tasa de cambio del 20% induce un crecimiento del PIB de 0.6%, las exportaciones crecen 6.7% y las importaciones disminuyen en 7.5%.

Los sectores más favorecidos por la devaluación son: textiles e industrias metálicas (con un crecimiento de la producción bruta mayor al 6%), maquinaria (5.6%), otras manufacturas (4.4%) y minerales no metálicos (3%). La devaluación genera presiones de costos importantes en la industria productora de bienes de capital, y en otras industrias como químicos y textiles. De hecho, el impacto inflacionario de la devaluación es considerable: el IPC se incrementa 4.1%.

La expansión de la actividad económica, y el tipo de sectores favorecidos por la devaluación, parecen tener un efecto significativo sobre las emisiones: la contaminación por partículas suspendidas se incrementa en casi 4%, y la generación de residuos sólidos en 3.3%.

Este, y los anteriores resultados del modelo sugieren una elasticidad de la polución al crecimiento del producto significativamente mayor que uno, especialmente en el caso de la contaminación atmosférica. Esto significa que el crecimiento del producto genera un incremento más que proporcional en las emisiones de contaminantes.

5. Incremento en el precio de los automóviles por imposición de controles a las emisiones

Los efectos de equilibrio general de una política de imposición del uso de convertidores catalíticos son prácticamente nulos. El PIB decrece en un 0.000075% y el empleo urbano queda prácticamente igual. Los efectos sobre el sector automotriz son también relativamente pequeños: la producción nacional automotriz y las importaciones disminuyen en 0.7%. De

otro lado, las exportaciones caen en 0.89%. Sin embargo, este cálculo asume que también se instalan convertidores catalíticos en los automóviles exportados, y por eso su pérdida de competitividad. En la práctica, este sobre-costos no existiría puesto que en los mercados regionales a los cuales van dirigidas las exportaciones, no existen normas que impongan el uso de convertidores catalíticos en los automóviles. Finalmente, la inversión en equipo de transporte (compra de vehículos) del sector privado se reduce en 0.78%.

En síntesis, la imposición de convertidores catalíticos en los vehículos automotores tiene un bajo costo económico, mientras que los beneficios derivados de las menores emisiones vehiculares son probablemente mucho mayores. El sector automotriz se ve marginalmente afectado, en la medida en que en todo caso se le impone un sobre-costos que transmite a los precios, y que disminuye en algo la compra de vehículos de los hogares.

Hay sin embargo factores que no pueden ser estrictamente analizados con el modelo como ocurre con respecto a la instalación de convertidores catalíticos en vehículos usados. Como se indica en el trabajo, una evaluación más adecuada de esta política debe hacerse con un instrumento sectorial que tome en cuenta la composición y edad del parque automotriz.

I. MODELACION ECONOMICA Y ANALISIS AMBIENTAL

El análisis de los efectos de las políticas ambientales sobre el crecimiento económico y de las políticas macroeconómicas sobre la calidad ambiental no puede hacerse exclusivamente sobre la base de modelos sectoriales o de equilibrio parcial. La interacción entre los sectores económicos, los mercados y la estructura institucional de la economía requieren la utilización de instrumentos que tomen en cuenta dichas relaciones.

Existe un desarrollo incipiente pero sostenido de aplicación de modelos de equilibrio general para el análisis ambiental. El uso de este tipo de modelos es aún más importante cuando se consideran políticas ambientales basadas en incentivos que actúan a través de mecanismos de mercado. La principal razón es que en los modelos de equilibrio general los mecanismos de precios juegan un rol central en el contexto de una economía donde los agentes se comportan en forma maximizadora bien sea como consumidores o como productores.

Algunas de las ventajas de los modelos de equilibrio general (MEG) para el análisis de las políticas ambientales son las siguientes:

- i) Permite cuantificar los efectos ambientales de diversas políticas macroeconómicas y sectoriales.
- ii) Igualmente, un MEG puede usarse para cuantificar los efectos directos e indirectos de las políticas ambientales.
- iii) Puede ser utilizado para comparar diferentes políticas, y definir cuáles son más eficientes en términos de costos, donde el costo de las políticas ambientales puede ser cuantificado en términos de crecimiento económico o de bienestar.

iv) Permite analizar el efecto de impuestos y tasas por contaminación ambientales en el contexto de la estructura tributaria vigente.

v) Igual que en las aplicaciones para análisis de distribución del ingreso y ajuste estructural, un MEG permite incorporar características específicas de las economías en desarrollo que determinan en forma central la respuesta de estas economías a shocks y políticas.

Sin embargo, también existen limitaciones que deben ser tomadas en cuenta y que se refieren a los alcances de los análisis basados en MEG con respecto al medio ambiente y al efecto de las políticas ambientales. Las principales desventajas que cabe señalar son las siguientes:

i) Usualmente se trata de modelos estáticos, y por lo tanto, posibles efectos stock y efectos flujo asociados a las políticas no son tomados en cuenta. Este problema es particularmente relevante en el caso de los recursos naturales renovables y no renovables.

ii) La mayor parte de los MEG aplicados al análisis ambiental no toman en cuenta el efecto de cambios en la calidad ambiental sobre el crecimiento económico, el cual sigue siendo medido en términos del PIB convencional, y sin ajustar por cambios en el valor de los stocks de los recursos ambientales y de los recursos naturales.

iii) Muchas veces el nivel de desagregación sectorial de un modelo de equilibrio general no es suficiente para hacer análisis específicos de sub-sectores (por ejemplo a 4 o 5 dígitos CIIU) o de procesos contaminantes. En algún momento es ciertamente preferible utilizar un modelo sectorial de equilibrio parcial, si el objetivo no es analizar el impacto global o la interacción entre las actividades productivas. En forma similar, es en general difícil incorporar la dimensión espacial en un modelo de equilibrio general. En efecto, la carencia de información consistente a nivel regional sobre producción, distribución del ingreso, demanda y flujos de comercio de bienes y factores entre regiones hacen prácticamente imposible especificar un modelo de equilibrio general con una dimensión regional.

iv) Puesto que parte de la información sobre la cual está basado el modelo tiene un carácter preliminar, en particular la relacionada con emisiones de contaminantes por sector, los resultados del modelo tienen un carácter indicativo y no constituyen necesariamente medidas cuantitativas precisas. Esta característica obviamente no es específica a los resultados de los modelos de equilibrio general, sino a cualquier modelo o ejercicio de cuantificación basado en dicha información.

Algunos de los más importantes mecanismos que afectan la relación entre crecimiento económico y medio ambiente, y que por lo tanto deben ser tomados en cuenta en el proceso de modelación son los siguientes:

A. Efectos de productividad del stock de recursos ambientales

En primer lugar conviene diferenciar la direccionalidad del análisis. La mayor parte de los modelos existentes, y particularmente los de equilibrio general, se concentran en el efecto del crecimiento económico sobre las variables ambientales. La forma como la evolución de los recursos ambientales afecta las posibilidades de crecimiento económico no es generalmente incorporada en forma explícita en los modelos aplicados, dada la dificultad de establecer funciones de daño o efectos de retroalimentación derivados de los cambios en el stock de bienes ambientales³.

Esta debilidad de los modelos existentes al dejar de lado el efecto del ambiente sobre el crecimiento económico es parcialmente atenuada en algunos modelos de equilibrio general por las siguientes razones:

³ Uno de los pocos esfuerzos de modelación en ambas direcciones es López (1994), al cual se hacen frecuentes referencias en las siguientes secciones. Sin embargo, se trata de un modelo teórico altamente estilizado, a diferencia de los modelos aplicados que pueden ser implementados empíricamente, como es el caso de los modelos de equilibrio general aplicados.

1) Se introducen explícitamente los instrumentos de política ambiental y se considera el efecto del uso de dichos instrumentos sobre el crecimiento económico y la estructura sectorial. En general, esta aproximación implica que se puede estimar el costo de la política, en términos de crecimiento económico o de bienestar, lo cual fija unos límites inferiores a los beneficios que se deben esperar de la aplicación de políticas específicas (por incrementos en la calidad ambiental, o disminución del deterioro ambiental). La cuantificación de estos beneficios debe hacerse por lo tanto por fuera del modelo. No obstante, aún sin la cuantificación explícita de ellos, la estimación de los costos asociados a las políticas permite comparar diferentes políticas, y definir cuáles políticas pueden ser más eficientes en términos de costos.

2) Efectos de productividad del stock de recursos ambientales sobre las actividades productivas son especialmente importantes en los sectores primarios, pero son menos importantes en los casos de contaminación industrial. En efecto, un uso más intensivo de los recursos boscosos, de los suelos, o de la población de peces, por ejemplo, lleva a reducciones en el stock de dichos recursos que afectan en forma directa la productividad de las actividades primarias relacionadas directa o indirectamente. No sucede lo mismo en el caso de cambios en la calidad del aire en las zonas urbanas. En este caso existen efectos de bienestar pero no están significativamente vinculados a cambios en los ingresos de las actividades industriales, es decir, no es debido a efectos inducidos por los cambios en la calidad del aire sobre la productividad industrial (López, 1994). Los efectos de bienestar en este caso podrían ser aproximados en forma más adecuada por los gastos en salud (tanto privados como públicos), y de los ingresos laborales no devengados en los cuales se debe incurrir como consecuencia de la polución.

De otro lado, Jorgenson y Wilcoxon (1990) consideran la existencia de efectos de productividad asociados a la política ambiental pero no al stock de recursos ambientales. En su modelo la productividad industrial es intensiva en energía y por lo tanto la mayor regulación ambiental disminuye el crecimiento de la productividad a través de mayores

precios de la energía. Este modelo por lo tanto constituye una elaboración adicional en la medición de los costos asociados a la regulación ambiental, mientras que la medición de los beneficios sigue siendo exógena al modelo.

Ciertamente, en el caso de un modelo orientado al análisis entre economía y medio ambiente en los sectores primarios, la consideración de efectos de retroalimentación de productividad del stock de recursos naturales sobre las actividades productivas (“stock feedback productive effects”) pasa a ser un elemento de primer orden en el proceso de modelación. En el modelo que se ha desarrollado para la Unidad de Política Ambiental del DNP está consideración es secundaria, ya que el objetivo básico de análisis es la contaminación industrial y el efecto de la política ambiental vinculada a la contaminación industrial.

Cuando los efectos de retroalimentación derivados de cambios en el stock de recursos ambientales son significativos, el grado en el cual dichas externalidades son o no internalizadas (por la existencia de derechos de propiedad, de arreglos institucionales específicos o como efecto de la política ambiental), juega un papel crucial en el análisis de la relación entre medio ambiente (recursos naturales) y economía. Si los productores individuales no internalizan el efecto-stock de los recursos naturales sobre la riqueza de la sociedad, un mayor crecimiento económico llevará a una tasa más alta de destrucción de los recursos naturales. En el caso en el cual dichos efectos son internalizados, la tasa de degradación de los recursos disminuye en la medida en que el crecimiento económico tiene lugar. La razón es que cuando los efectos stock son internalizados, la expansión de los factores convencionales de producción incrementan el valor de los recursos naturales como factores de producción y dicho valor es internalizado por los productores individuales.

B. Modelación de la conducta de las firmas

Las firmas pueden reaccionar a la fijación de tasas por emisión, o a la fijación de estándares de emisión a través de tres mecanismos básicos: a) a través de sustitución de factores hacia

insumos menos contaminantes; b) a través de la implementación de actividades de control de las emisiones; c) por procesos de relocalización, o de cambios en los patrones de localización de nuevas firmas, lo cual guarda relación con los procesos de entrada y salida de firmas. La especificación del grado de sustitución entre insumos, y de las funciones de costos de control, son por lo tanto fundamentales para determinar y cuantificar la respuesta de las actividades productivas frente a la regulación ambiental. El efecto sobre los procesos de localización ha sido mucho menos estudiado y no ha sido aún explorado en el contexto de los modelos de equilibrio general. A continuación se discute el tratamiento utilizado en algunos modelos de equilibrio general en cada uno de estos tópicos.

1. Consideraciones Tecnológicas: posibilidades de sustitución entre insumos y polución.

Uno de los elementos más importantes que se debe considerar en la modelación entre economía y medio ambiente, es la capacidad de los sectores productivos para sustituir el uso de insumos de diferente impacto contaminante. En el caso en el cual dicho grado de sustitución es nulo o muy bajo, existirá necesariamente una relación directa entre crecimiento económico y polución: el crecimiento económico incrementa la polución. Igualmente, entre menor sea el grado de sustitución, mayor será el costo de la política ambiental, en términos de crecimiento y bienestar. En la medida en que la calidad ambiental haga parte de las preferencias sociales, existirá un límite en el nivel de polución tolerable, y por lo tanto un límite en el crecimiento económico de largo plazo, el cual pasará a depender, dentro del marco de los modelos neoclásicos de crecimiento, de la existencia de cambio técnico ahorrador de polución⁴.

⁴ Este último proceso es diferente a la sustitución entre insumos y polución (o insumos de diferente efecto contaminante). El cambio técnico está relacionado con procesos de inversión y de adopción de tecnologías menos contaminantes. La posibilidad de sustitución entre insumos se plantea sobre la base de la tecnología existente en un momento del tiempo.

En los modelos de equilibrio general aplicado se adoptan diferentes estrategias de modelación del grado de sustitución entre insumos (y por lo tanto entre insumos convencionales y polución). Una alternativa es asumir diferentes posibilidades de sustitución entre diferentes insumos energéticos a nivel de cada sector, lo cual define un “paquete de energía” específico a cada sector. Al mismo tiempo se asume una tecnología tipo Leontieff (coeficientes fijos o grado de sustitución cero) entre este compuesto de energía y los insumos no energéticos, el capital o el trabajo.

Una alternativa más flexible es la implementada por Conrad y Schroder (1993) y Bergman (1990). Ellos utilizan funciones de producción anidadas (“nested production functions”) que permiten una elasticidad constante de sustitución (CES) en cada uno de los niveles de combinación de insumos. Así por ejemplo, en Bergman (1990) la energía en cada sector es una agregación a través de una función CES de la electricidad y los combustibles. Este compuesto a su vez es agregado con el capital, dada una determinada elasticidad de sustitución. El compuesto de energía y capital es posteriormente combinado con el trabajo con una elasticidad de sustitución determinada. Este último compuesto está por lo tanto conformado por el valor agregado y los insumos energéticos. En la última etapa de la producción, este factor compuesto se combina, por coeficientes fijos, con los insumos no-energéticos tanto domésticos como importados.

La formulación de Conrad y Schroder (1993) es en cierto sentido más flexible que la de Bergman. Ellos también consideran la energía como un compuesto de las diferentes fuentes energéticas dada una elasticidad de sustitución. Pero adicionalmente, admiten la posibilidad de sustitución entre los insumos energéticos, con los insumos no energéticos, el capital y el trabajo. El grado de flexibilidad “óptimo” definido en un modelo depende necesariamente de la disponibilidad de información. Entre más flexible sea el modelo, mayores son los requerimientos de información⁵.

⁵ Una mayor flexibilidad consiste no solamente en no asumir tecnologías de coeficientes fijos, sino también en incorporar la posibilidad de elasticidades de sustitución no constantes entre insumos. En términos de formas

2. Tecnologías de Control de la Polución

La adopción de tecnologías de control a la polución puede ser representada por medio de funciones de costos (aproximación dual). Usualmente estas funciones tienen dos componentes: los costos fijos y la parte de los costos que varía dependiendo del grado de control. Si las tecnologías de control son intensivas en capital, probablemente estarán caracterizadas por costos fijos significativos. De otro lado, los costos por unidad de emisiones controladas son usualmente convexos con respecto al grado de control. La razón de este comportamiento es que las tecnologías de control están diseñadas para un cierto grado de control, y subir dicho grado incrementaría drásticamente los costos.

Como en el caso de la sustitución entre insumos, la especificación de las funciones de costos de control depende críticamente de la disponibilidad de información.

3. Cambios en los patrones de localización

Como se afirmó anteriormente, el efecto sobre los procesos de localización ha sido mucho menos estudiado y no ha sido aún explorado en el contexto de los modelos de equilibrio general. La principal razón es que estos procesos requieren ser analizados a nivel de firma y no a nivel de sectores. La mayor parte de los modelos de equilibrio general trabajan con la noción de una “firma representativa” con lo cual se deja de lado cualquier consideración de heterogeneidad tecnológica y de costos a nivel de firma.

funcionales, esta opción estaría representada por la adopción de “formas funcionales flexibles” como representación de la tecnología. Este punto será discutido más adelante, en la estimación de las funciones de costos para la industria colombiana.

Sin embargo, los cambios en los patrones de localización son una de las opciones de la política ambiental, y requiere ser considerada en el contexto de los efectos que tendría sobre los niveles de competitividad de sectores y regiones específicas. La re-localización puede ser un efecto indirecto de otras políticas ambientales, como la aplicación de tasas compensatorias y retributivas por contaminación o la fijación de estándares de emisión.

En el caso colombiano, el actual proceso de apertura económica constituye una valiosa oportunidad para analizar los cambios que las reformas de internacionalización y de modernización de la economía han inducido sobre la distribución espacial de la industria. En efecto, en la medida en que las exportaciones y los mercados externos tengan una mayor importancia dentro del desarrollo industrial, podrían ocurrir cambios significativos en el patrón de distribución espacial de la producción. Igualmente, la existencia de ineficiencias en la estructura espacial generaría sobre-costos que pueden mantenerse en una economía cerrada pero no en una economía abierta.

Un análisis de estos procesos y de sus principales tendencias sería particularmente útil para evaluar las posibilidades del uso de instrumentos económicos para incentivar procesos de re-localización con ganancias netas en competitividad y calidad ambiental (Rudas y Ramírez, 1995).

C. El Corto y el Largo Plazo en la Modelación Ambiental

La diferencia entre el “corto plazo” y el “largo plazo” en el análisis ambiental es crucial. Por ejemplo, el análisis de las respuestas de los agentes económicos a la imposición de una tasa por contaminación va a variar dependiendo del horizonte de tiempo que requieran los ajustes. En el corto plazo los efectos más importantes, son probablemente los efectos de sustitución entre diferentes tipos de combustibles, la sustitución entre insumos más contaminantes por insumos menos contaminantes, y también ajustes por eficiencia

energética, y eficiencia productiva en general. En síntesis, la respuesta de corto plazo corresponde a los aspectos analizados en la parte 1 de la Sección anterior.

En el largo plazo, la respuesta de los agentes económicos se extendería a la adopción de tecnologías de control, cambios en las decisiones de localización de nuevas firmas, y en algunos casos procesos de relocalización de firmas existentes. El largo plazo cubre, por lo tanto, los temas discutidos en las partes 2 y 3 de la Sección anterior. Dentro de todos estos aspectos, las decisiones de adoptar tecnologías menos contaminantes es quizás, el principal elemento en el análisis de largo plazo.

Se debe señalar que el modelo que se ha desarrollado para esta investigación se concentra en el análisis de corto plazo. Hay dos razones básicas para esta escogencia: por un lado, constituye una primera etapa analítica que es muy importante desde el punto de vista de los impactos de corto plazo de la política ambiental. En particular, interesa desde la perspectiva de los efectos macroeconómicos y sectoriales de la política ambiental. Es claro que las posibilidades de implementar determinadas políticas ambientales depende de la forma como afecten variables macroeconómicas como el crecimiento, la inflación, el balance fiscal, etc.

La segunda razón es que la especificación y estimación de un modelo ambiental centrado en el análisis de largo plazo requiere, en el caso colombiano, de un trabajo previo de estimación de funciones de costos de control, al menos para los sectores de mayor impacto contaminante. Sin esta información es prácticamente imposible desarrollar un modelo medianamente confiable.

Como se plantea en las conclusiones de este informe, una de las extensiones más importantes al presente trabajo es la especificación de un modelo de largo plazo que incorpore la respuesta endógena de los agentes económicos a la política ambiental en términos, no sólo de sustitución de insumos, sino sobre todo, de cambio tecnológico.

II. ANALISIS DE INCIDENCIA DE LA POLITICA AMBIENTAL

A. Instrumentos de la Política Ambiental

El Cuadro No. 1 presenta la caracterización de los principales instrumentos de política ambiental que hacen Eskeland y Jiménez (1991).

Como se ha señalado en diversos análisis, existen diferencias en el grado de eficiencia en términos de costos y en términos de resultados sobre emisiones, entre las diversas políticas.

La fijación de estándares, por ejemplo, es particularmente útil para la regulación de los contaminantes más peligrosos, y en general, para aquellos casos en los cuales el daño marginal asociado a la presencia del contaminante por encima de un cierto nivel se incrementa muy rápidamente. Sin embargo, en otros casos la fijación de estándares de emisión no es en general eficiente si existen diferencias en los costos marginales de control entre fuentes. Adicionalmente, la implementación de estas políticas requiere una gran cantidad de información y complejos procedimientos administrativos, al tiempo que no produce recaudos (excepto por las multas que se imponen por niveles de emisión superiores a la norma).

La fijación de tasas de emisión por el contrario, constituye una política eficiente: cada contaminador controlaría sus emisiones hasta el punto en el cual el costo marginal de control es igual a la tasa. De esta manera, la fijación de tasas por contaminación incentivan el desarrollo de tecnologías descontaminantes. Desde una perspectiva teórica constituyen la solución óptima en el contexto de un modelo de equilibrio general con perfecta información. Sin embargo, dada la existencia de información imperfecta, la determinación de la tasa óptima requeriría de un proceso de ensayo y error que puede resultar ineficiente, y que puede generar un ambiente de inestabilidad para la gestión empresarial.

CUADRO NO. 1
INSTRUMENTOS DE POLITICA AMBIENTAL

| | Instrumentos Directos | Instrumentos Indirectos |
|---|---|---|
| Incentivos basados en el mercado (MBIs) | <ul style="list-style-type: none"> • Tasas por Contaminación • Permisos Transables • Sistemas de Depósitos Reembolsables | <ul style="list-style-type: none"> • Impuestos y Subsidios a Insumos • Subsidios a sustitutos y a insumos para control de la polución |
| Regulación y Control | <ul style="list-style-type: none"> • Regulaciones sobre emisiones (por fuentes) • Cuotas no Transferibles | <ul style="list-style-type: none"> • Especificaciones Técnicas de Equipos y Procesos |
| Gastos de Inversión | <ul style="list-style-type: none"> • Gastos en Saneamiento Ambiental | <ul style="list-style-type: none"> • Desarrollo Tecnológico |

En el caso de los permisos de emisión se garantiza el logro de un nivel máximo de contaminación, a diferencia de la tasa por contaminación que trata de “encontrar” el precio que produce dichos niveles máximos de contaminación. Con información perfecta, por lo tanto, ambos instrumentos son equivalentes. Sin embargo, cuando existe información imperfecta, el costo relativo asociado a cada instrumento va a diferir de acuerdo a la relación que exista entre daño marginal y costo marginal de control. Si el costo marginal de control es muy alto y el daño marginal es relativamente bajo, es preferible probablemente, utilizar una política de tasas de emisión en lugar de determinar un monto máximo de emisiones transables.

b. Análisis de la Incidencia de la Política Ambiental en los MEGs.

En términos de la presentación de las políticas ambientales de Eskeland y Jiménez (1991), el Modelo de Equilibrio General permite simular las siguientes políticas:

- (1) Tasas por contaminación.
- (2) Impuestos y subsidios a insumos de acuerdo a su efecto contaminante.
- (3) Subsidios a bienes sustitutos de bienes contaminantes y a insumos necesarios para el control de la polución.
- (4) Gastos en Saneamiento Ambiental, distinguiendo entre inversión en recursos hídricos, inversión en suelos y bosques, y otros gastos ambientales no especificados, tal como se muestra en el Cuadro 2.

El Modelo de Equilibrio General para Colombia, y los diferentes modelos de equilibrio general que han sido utilizados para el análisis ambiental no involucran funciones de daño las cuales requerirían información de valoración ambiental asociada a las emisiones, que en

primer lugar, no está en general disponible, y en segundo lugar, depende de particularidades regionales y ecosistémicas que no son contempladas en estos modelos⁶.

Esto no significa sin embargo, que no sea posible hacer una cuantificación de la incidencia de las políticas ambientales y una comparación en términos de costos entre ellas. Existen metodologías que permiten medir el impacto de la regulación ambiental sobre la economía, y todas ellas pueden ser utilizadas en el contexto de los MEGs. La base de estas metodologías es la comparación de los ingresos o del nivel de bienestar de los grupos socio-económicos en la situación inicial y en una situación en la cual se imponen (o se eliminan) políticas de regulación ambiental. Las principales formas de medición del impacto de las políticas son las siguientes:

- i) Variaciones en el ingreso real disponible.
- ii) Variaciones en el consumo de los grupos socio-económicos.
- iii) Variaciones en la utilidad de los grupos socio-económicos.
- iv) Variaciones equivalentes de Hicks.

En el caso particular de las tasas por contaminación, y de todas aquellas políticas que generen recaudos fiscales, es posible hacer el análisis de la incidencia de las políticas desde dos aproximaciones:

- (a) Incidencia diferencial:

⁶ A lo sumo se tendría que especificar una función de daño “promedio” a nivel nacional, que constituiría una ponderación de las funciones de daño por regiones.

Es la comparación de variaciones en el ingreso real, el consumo y el bienestar entre las situaciones con y sin la imposición de las tasas.

(b) Incidencia de presupuesto equilibrado:

Asume que los recaudos generados por la imposición de las tasas son utilizados, en su totalidad, para financiar gasto adicional del gobierno con una finalidad ambiental directa o indirecta (por ejemplo, tratamiento de aguas residuales o de basuras, obras de infraestructura, o contratación de asalariados para las agencias gubernamentales de regulación ambiental⁷).

En la medida en que se tenga información acerca del grado de control asociado al gasto ambiental directo del gobierno (por ejemplo, por tratamiento de aguas residuales), es posible incorporar este efecto al análisis del impacto global de la fijación de tasas sobre el nivel de emisiones. Esto significa que los cambios en emisiones asociados a la fijación de tasas provendrán no solamente de los inducidos por los procesos de sustitución entre insumos y bienes como resultado de los cambios en los precios relativos, sino también como efecto de los gastos del gobierno en saneamiento ambiental.

Finalmente, debe tenerse en cuenta que puesto que en cada simulación el estado de calidad ambiental varía por cambios en el volumen y tipo de emisiones, no es posible, en principio, una comparación directa y un ordenamiento de las políticas en términos de optimalidad o costos. Sin embargo, dicha comparación es posible si se mantiene el estado del ambiente en el año base en las diferentes simulaciones. La ventaja de esta aproximación es que no hay necesidad de una evaluación monetaria de los diferentes estados del ambiente para poder comparar el efecto de diferentes políticas (Conrad y Schroder, 1993, p. 523).

⁷ Dada la estructura del modelo es posible distinguir cada tipo de gasto, los cuales tienen efectos económicos diferentes.

III. DESCRIPCION DEL MODELO

El modelo consta de dos partes que son respectivamente el Modelo Real y el Modelo de Emisiones.

A. Modelo Real

1. Estructura Contable del Modelo

La estructura contable del modelo está basada en el número de sectores productivos, factores de producción, hogares y sectores institucionales definidos en la Matriz de Contabilidad Social sobre la cual está construido el modelo.

Sectores

El modelo tiene 27 sectores productivos tal como se describe en la Tabla 1. Estos sectores tienen correspondencia con la clasificación de Cuentas Nacionales, con una mayor desagregación del sector de minería y del sector manufacturero. Estos últimos corresponden, aproximadamente, a los comprendidos a dos dígitos CIIU.

Factores Productivos

La SAM incluye dos tipos de trabajo (trabajo rural y urbano) y un capital específico a cada sector. Esto significa que existe movilidad de la fuerza de trabajo en el sector urbano y en el sector rural (pero no entre el sector urbano y el sector rural), mientras que el capital es completamente inmóvil entre sectores.

Instituciones

**TABLA I. SECTORES PRODUCTIVOS DE LA MATRIZ DE CONTABILIDAD
SOCIAL COLOMBIA-1990**

1. AGROPECUARIO

2. CAFE

3. MINERÍA Y REFINACION:

- Petróleo
- Gas Natural
- Carbón
- Refinados del Petróleo
- Resto de la minería

4. INDUSTRIA

- Café elaborado
- Productos cereales
- Derivados de la leche
- Azúcar y productos azucareros
- Otros alimentos agrícolas
- Carnes.
- Bebidas
- Tabaco
- Textiles, prendas de vestir y cueros.
- Madera y muebles de madera.
- Papel e Imprentas
- Químicos y Caucho
- Metálicos no elaborados.
- Metálicos elaborados
- Maquinaria y Equipo
- Material de Transporte
- Otras Manufacturas.

5. CONSTRUCCION

6. SERVICIOS NO GUBERNAMENTALES

7. SERVICIOS DEL GOBIERNO

El número total de instituciones del modelo incluye los hogares por deciles de ingreso (10 tipos de hogar), las empresas, el gobierno, las empresas de seguridad social y el resto del mundo. Sin embargo, dadas las restricciones de información, a nivel del consumo sólo se consideran dos tipos de hogares: el hogar rural y el hogar urbano.

El Cuadro No. 3 describe las principales características del Modelo Real el cual constituye el Modelo de Equilibrio General propiamente dicho. La base estadística de este modelo es la Matriz de Contabilidad Social (SAM) que fué descrita en la anterior sección.

Ventajas de la Estructura Contable del Modelo para el Análisis Ambiental

La estructura contable del modelo de equilibrio general que se ha construido para Colombia tiene varias ventajas en términos del análisis ambiental:

- La apertura del sector industrial considera aquellas industrias con un mayor impacto contaminante como carnes, bebidas, químicos, fabricación de minerales no metálicos (cemento, cal, vidrio, etc.), construcción, y otros.
- Es especialmente importante el nivel de detalle en el uso de combustibles por parte de los sectores industriales. En efecto, la apertura de la SAM en términos de petróleo crudo, refinados, gas natural, y carbón mineral, es una condición necesaria para el análisis de la contaminación industrial.
- La SAM incluye un altísimo detalle en términos de la estructura de impuestos que pagan las actividades productivas y los agentes económicos. En particular se consideran las tasas de impuestos indirectos sobre la producción (específicos a cada sector), las tasas arancelarias sobre bienes importados y las tasas de subsidio neto a las exportaciones, los impuestos al valor agregado, los cuales son no solamente específicos por sector sino que además varían de acuerdo al uso o destinación del bien entre consumo final y consumo intermedio.

CUADRO No. 3**ESTRUCTURA DEL MODELO AMBIENTAL PARA COLOMBIA**

| | |
|--|--|
| A. Cantidades Fijas | <ul style="list-style-type: none"> - Extracción de Petróleo - Exportaciones de Café - Exportaciones de Carbón |
| B. Precios Domésticos Fijos | <ul style="list-style-type: none"> - Gas Natural - Petróleo - Refinados del Petróleo - Carbón - Servicios del Gobierno - Markups en Industria y Servicios - Tasa de Cambio Nominal - Salarios Urbanos |
| C. Mercado de Factores | <ul style="list-style-type: none"> - Cantidades Fijas de Trabajo Rural - Desempleo Urbano Endógeno - Capitales Sectoriales Fijos |
| D. Tipos de Emisiones Sector Industrial | <ul style="list-style-type: none"> - Contaminación Hídrica (DBO, DQO, Sólidos Suspendidos) - Residuos Sólidos - Contaminación Atmosférica (Partículas Suspendidas, NO_x, SO_x) |
| E. Formas Funcionales | <ul style="list-style-type: none"> - CES entre tipos de combustibles - CES entre capital y trabajo rural - Combinación de Insumos en Proporciones Fijas - CET para exportaciones agrícolas - IO para otras exportaciones - Demandas de Exportación no infinitas - LES para el consumo privado |
| F. Cierre del Modelo | <ul style="list-style-type: none"> - Inversión Exógena (Privada y Pública) - Ahorro Externo Endógeno - Déficit Fiscal Endógeno - Ahorro Privado Endógeno |

Adicionalmente se consideran los impuestos directos a los ingresos factoriales y de los hogares.

- Esta detallada estructura de impuestos dentro de la SAM es crucial para analizar los efectos probables de las tasas retributivas y compensatorias, y el efecto de otros impuestos con objetivos ambientales (como por ejemplo impuestos diferenciados a los combustibles). La razón es que no es equivalente analizar el impacto de las tasas aisladas del resto de la estructura tributaria de la economía, que cuando se toman en cuenta las distorsiones ya existentes inducidos por dicha estructura. Se sabe que el grado de optimalidad de una tasa depende de las distorsiones ya existentes (Ballard, Shoven, et. al., 1985). Adicionalmente, dada la estructura de impuestos del modelo es posible particularizar en alto grado sobre quién recae la tasa o el impuesto (por ejemplo, dependiendo de quien usa los combustibles).

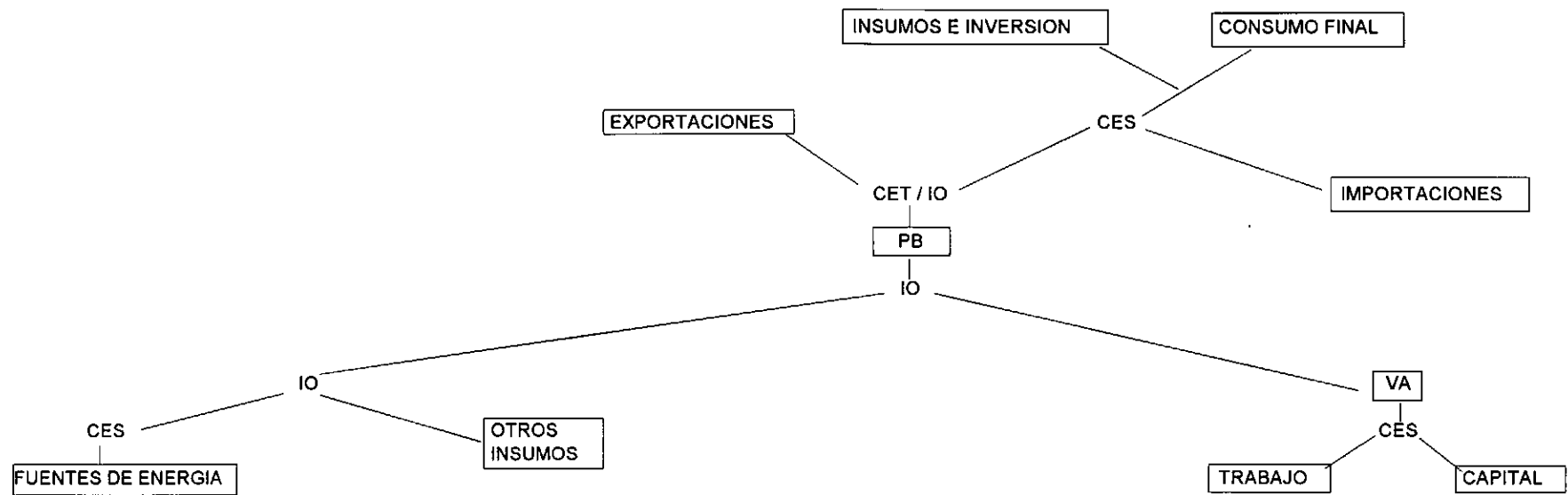
2. Funcionamiento del Modelo

El Modelo Real encuentra los vectores de equilibrio de precios y cantidades en cada uno de los mercados de bienes y factores, es decir, los vectores de precios que equilibran la oferta y la demanda en cada mercado. Así mismo deriva la estructura de distribución del ingreso entre los factores y las instituciones (hogares, empresas y gobierno) y la estructura de gasto de los hogares y del gobierno generados por dichos equilibrios.

Producción y Valor Agregado

La estructura básica de la modelación de la producción en cada sector aparece representada en los Gráficos 1 y 2. Es una estructura por etapas (funciones de producción anidadas), que avanza desde la combinación de insumos hasta la separación de productos según el tipo de mercado. Para el caso de los sectores industriales en las primeras etapas se combinan los diferentes combustibles (Petróleo, Carbón, Gas Natural y Refinados) mediante funciones de elasticidad de sustitución constante (CES). El agregado de combustibles se combina posteriormente con los otros insumos a través de coeficientes técnicos fijos, proceso que representa una tecnología tipo Leontieff. Esta forma de modelación implica que el coeficiente de consumo de combustibles por unidad de producto es constante, pero que esa demanda requerida de combustibles puede ser satisfecha con diferentes

GRAFICO No 1
ESTRUCTURA DE PRODUCCIÓN



combinaciones de los diferentes combustibles, los cuales son imperfectamente sustitutos entre sí, y responden en cierto grado, a cambios en sus precios relativos.

De otro lado, el trabajo se combina con el agregado de combustibles y de insumos diferentes a combustibles por medio de coeficientes fijos. Excepto en el caso del sector agropecuario, en todas las actividades productivas se generan rentas o markups como resultado de rigideces de precios y/o cantidades que hacen que los productores no se comporten como maximizadores de beneficios en el corto plazo. En el caso de la minería, las rigideces obedecen a restricciones de oferta como en el caso de la extracción de petróleo o la producción de refinados, o a precios regulados como en el caso del gas natural, el carbón y los servicios del gobierno (el petróleo y los refinados del petróleo también presentan precios regulados). El supuesto de precios fijos en la producción de combustibles, tiene también el propósito de simular el efecto de diferentes políticas de precios sobre la actividad económica y sobre los niveles de emisión de los sectores manufactureros como se explica más adelante.

En el caso de los sectores industriales, la formación de precios por markups refleja la existencia de condiciones oligopólicas y de subutilización de la capacidad instalada. En correspondencia con el supuesto de formación de precios por markup en la industria, se asume que el mercado laboral urbano es un mercado de precios fijos, en el cual la variable de ajuste entre la oferta (exógena) y la demanda de trabajo es el desempleo, el cual se determina residualmente.

Oferta de Bienes

Al combinar los insumos y el valor agregado se obtienen las producciones domésticas, que pueden dirigirse hacia el mercado interno o al externo. En la medida que las características de los bienes exportados y los consumidos domésticamente sean similares o difieran se modelan las bifurcaciones utilizando funciones de oferta de exportaciones de coeficientes fijos (IO) en el caso de bienes homogéneos, o funciones de oferta de elasticidad constante de transformación (CET) en el caso en el cual existe diferenciación de productos.

La parte de la producción de cada sector que se dirige al mercado doméstico se combina con los bienes importados mediante una función CES, bajo el supuesto de que existe diferenciación de

productos, lo cual se refleja también en el valor de la elasticidad de sustitución correspondiente. Finalmente, las ofertas domesticas compuestas van a satisfacer las necesidades de inversión (en los casos relevantes), consumo final y consumo intermedio. El modelo también diferencia los bienes de acuerdo al pago de impuestos al cual están sometidos, y son dichos precios con sus correspondientes impuestos, los que deben pagar los demandantes finales de los bienes.

Distribución del Ingreso y Consumo

Los ingresos primarios generados por los factores productivos en el campo y en la ciudad se distribuyen en proporciones fijas a las familias por deciles de ingreso. En las ciudades, una parte del ingreso de capital va a las empresas, que a su vez tienen reglas fijas de distribución. Cada uno de los grupos familiares considerados utiliza sus ingresos para consumir, ahorrar y pagar impuestos (en los dos deciles urbanos más altos únicamente), en proporciones fijas.

Los gastos de consumo se asignan de acuerdo con Funciones de Lineales de Gasto (LES). Estas funciones de gasto constituyen las condiciones de primer orden de un proceso de maximización de funciones de utilidad tipo LES sujetas a las restricciones presupuestarias correspondientes. La característica específica de estas funciones de utilidad es que reconocen un umbral de consumo mínimo o gasto comprometido, por debajo del cuál los consumidores obtienen desutilidad, y por lo tanto el ingreso se dedica, en primera instancia a satisfacer dichos consumos mínimos, independientemente de los precios relativos de los bienes. La parte del ingreso que supera dichos consumos mínimos sí es asignado en respuesta a los precios relativos de los bienes de acuerdo a una elasticidad marginal de gasto específica para cada bien. En conjunto, las funciones lineales de gasto asumen una elasticidad de demanda que varía entre 0 y 1 dependiendo del peso del consumo comprometido dentro del consumo total del bien.

Gobierno

Los ingresos del gobierno provienen principalmente de los diferentes tipos de impuestos: impuestos indirectos, aranceles, IVA (distinguiendo entre bienes exentos y gravados según sus tasas), impuesto a la renta (sobre empresas y deciles más altos de ingreso urbano) e impuestos a la nómina. Además el gobierno recibe transferencias por montos exógenos del exterior, y participa en los ingresos de las

empresas urbanas de algunos sectores en proporciones fijas. El gobierno utiliza esos ingresos para pagar gastos de consumo corriente y de inversión que están dados exógenamente, dejando como saldo un superávit o déficit fiscal el cual se determina, por lo tanto, residualmente.

Equilibrio Ahorro-Inversión

El ahorro privado es endogenamente determinado de acuerdo a los coeficientes de ahorro de las familias. De otro lado, el ahorro del gobierno es residual, tal como se explicó anteriormente. La tasa de cambio es fija y por lo tanto, el déficit en cuenta corriente es la variable que equilibra el sector externo. Dado que la inversión privada y la inversión pública son exógenas (en términos reales), el ahorro total se ajusta a la inversión.

b. Modelo de Emisiones

El Modelo de Emisiones es un módulo construido en GAMS que recoge los resultados del modelo real en términos de la producción bruta y el consumo de combustibles de cada sector industrial y calcula los niveles de emisión de contaminantes atmosféricos, producción de residuos sólidos, y contaminación hídrica con base en coeficientes fijos específicos a cada sector y a cada tipo de contaminante.

Las emisiones y contaminantes considerados son los siguientes:

| | |
|--------|--|
| DBO | Demanda Biológica de Oxígeno |
| DQO | Demanda Bioquímica de Oxígeno |
| SST | Sólidos Suspendidos |
| RESSOL | Residuos Sólidos Peligrosos |
| POLVO | Contaminación Atmosférica con Partículas Suspendidas |
| SOx | Oxido de Azufre |
| NOx | Oxido de Nitrógeno |

En el caso de la contaminación hídrica también se calcula la “Carga Contaminante” (CC) definida como:

$$CC = (2*DBO + DQO)/3 + SST$$

Las emisiones totales en un sector son calculadas con base en coeficientes fijos de emisión los cuales están definidos con respecto a la producción bruta en términos reales (a pesos de 1994) o al consumo de combustibles también en términos reales.

Las emisiones cuyos coeficientes son proporcionales a la producción bruta son: DBO, DQO, SST y la generación de residuos sólidos.

Las emisiones cuyos coeficientes son proporcionales al consumo de combustibles son: Residuos Sólidos, Sox y Nox.

Los valores de los coeficientes así definidos se muestran en el Cuadro 4.

Con el fin de tomar en cuenta las diferencias en términos de emisiones de dos sectores con igual consumo agregado de combustibles, pero uno basado por ejemplo, en el uso de Gas Natural, y el otro en el de Carbón Mineral, se ha incorporado una matriz de ajuste de los coeficientes de contaminación atmosférica:

COEFICIENTES DE AJUSTE

| | POLVO | SOX | NOX |
|--------|-------|-------|---------|
| PETROL | 2.373 | 1.725 | 0.031 |
| GASNAT | 0.001 | 0.000 | 0.001 |
| CARBON | 3.085 | 0.862 | 2.449 |
| REFINA | 0.467 | 1.157 | 1.942 ; |

Estos coeficientes fueron obtenidos con base en la información del estudio de Sánchez y Lora (1992) acerca de la emisión de contaminantes por combustibles:

| Combustible | Particulas | SO ₂ | NO _x | Unidades |
|--------------|------------|-----------------|-----------------|----------|
| Gas Natural | 4,50E-12 | 2,70E-13 | 3,15E-10 | BTU |
| Gas Natural | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | KCal |
| Combustoleo | 3,90E-09 | 5,54E-09 | 1,50E-08 | KCal |
| Crudo de Cas | 3,00E-07 | 4,20E-08 | 1,26E-08 | KCal |
| Carbon | 3,90E-07 | 2,10E-08 | 9,90E-07 | KCal |

Estos coeficientes son utilizados para ajustar los cálculos de las emisiones atmosféricas de cada sector de acuerdo a la composición de su canasta energética.

El ajuste se efectúa de la siguiente manera:

En primer lugar se calculan las participaciones de cada combustible en el consumo total de combustibles por sector (P_i). Luego estas participaciones son multiplicadas por la matriz de coeficientes de ajuste ($A_{ji,e}$). Esta multiplicación genera un vector de coeficientes de ajuste por tipo de contaminante específico a cada sector. Dicho vector es utilizado para ajustar, finalmente, el cálculo de emisiones atmosféricas (por sector y tipo de contaminante) que se realiza con base en el coeficientes de emisión que se explicaron anteriormente.

IV. SIMULACIONES Y RESULTADOS

El Cuadro No.5 describe las simulaciones que se realizaron con el modelo. El conjunto de los experimentos pretende analizar el efecto de políticas ambientales basadas en incentivos de mercado de carácter directo o indirecto.

A. Incentivos Indirectos

1. Incremento en el Precio de los Productos Refinados del Petróleo

Varios de los experimentos están orientados a medir el impacto sobre la actividad y los precios, y sobre el nivel de emisiones, de incrementar el precio de uno o varios combustibles.

En el caso del Experimento 1 se incrementa el 20% el precio de los refinados, cuyo principal componente es la gasolina. Adicionalmente se asume que los ingresos adicionales del gobierno que genera el aumento de precios no son gastados. El Experimento 1A analiza lo que ocurre con el incremento del 20% en los precios de los refinados cuando la elasticidad de sustitución entre los diferentes combustibles es muy baja⁸.

Los resultados de estas simulaciones son los siguientes (Cuadros 6 a 8):

En el escenario con altas elasticidades el PIB disminuye casi un punto porcentual al incrementar el precio de los refinados en 20%⁹. La caída del consumo es aún mayor (-1.7%).

⁸ En el caso del experimento 1 se asume una elasticidad cercana a 1 (0.998), mientras que en el caso de bajas elasticidades dicho valor es de 0.2.

⁹ Se debe anotar que éste es un incremento en términos reales.

CUADRO NO. 5

DESCRIPCIÓN DE EXPERIMENTOS

| | |
|-----------------|--|
| EXP. 1: | <ul style="list-style-type: none"> • Incremento del 20% en el precio de Refinados |
| EXP. 2: | <ul style="list-style-type: none"> • Ajuste de los precios de los combustibles a sus costos de oportunidad - ALTAS ELASTICIDADES de sustitución entre combustibles. |
| EXP. 2A: | <ul style="list-style-type: none"> • Ajuste de los precios de los combustibles a sus costos de oportunidad - BAJAS ELASTICIDADES de sustitución entre combustibles. |
| EXP. 3: | <ul style="list-style-type: none"> • EXP. 2 + Ajustes por incrementos en eficiencia. |
| EXP. 4: | <ul style="list-style-type: none"> • EXP. 4 + Incrementos compensatorios en inversión pública |
| EXP. 5: | <ul style="list-style-type: none"> • Tasas por Contaminación Hídrica (Carga Contaminante) |
| EXP. 6: | <ul style="list-style-type: none"> • Tasas por Generación de Residuos Sólidos |
| EXP. 7: | <ul style="list-style-type: none"> • Tasas por Contaminación Atmosférica (Partículas Suspendidas) |
| EXP. 8: | <ul style="list-style-type: none"> • Tasas Globales por Contaminación |
| EXP. 9: | <ul style="list-style-type: none"> • Devaluación del 20% |
| EXP 10: | <ul style="list-style-type: none"> • Incremento en el precio de los vehículos por imposición de control de emisiones. |

CUADRO No 6
IMPACTO ECONOMICO DE LA POLITICA AMBIENTAL
RESULTADOS MACROECONOMICOS

| | 20% Precios Refinados A.E. | 20% Precios Refinados B.E. | Ajuste Costos de Oport. A.E. | Ajuste Costos de Oport. B.E. | Ajuste Costos de Oport. y eficiencia | Ajuste Costos Eficiencia e Inv. pública | 20% de deval. | Impto contam. por RESSOL | Impto contam. para POLVO | Impto contam. para CC | Impto contam. Total |
|------------------|----------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|--|---|---------------|-----------------------------|-----------------------------|--------------------------|------------------------|
| PIB | -0.91 | -0.97 | -4.02 | -4.28 | -1.97 | -0.86 | 0.56 | -0.16 | -0.82 | -0.011 | -0.978 |
| Consumo | -1.69 | -1.78 | -7.16 | -7.52 | -4.57 | -3.56 | -2.56 | -0.24 | -1.19 | -0.019 | -1.441 |
| Exportaciones | -0.31 | -0.16 | -0.33 | -0.67 | 2.16 | 2.00 | 6.73 | -0.06 | -0.50 | -0.003 | -0.566 |
| Importaciones | -1.34 | -1.17 | -3.95 | -4.11 | -3.71 | -2.56 | -7.50 | -0.07 | -0.32 | -0.008 | -0.386 |
| DEFPIB | 0.34 | 0.34 | 2.18 | 2.18 | 1.42 | 1.68 | 2.66 | 0.08 | 0.65 | 0.005 | 0.73 |
| IPC | 0.33 | 0.32 | 1.13 | 1.09 | 0.84 | 1.14 | 4.11 | 0.05 | 0.32 | 0.006 | 0.371 |
| Ahorro Externo | -0.20 | -0.20 | 0.98 | 1.02 | 0.70 | 0.84 | -0.33 | -0.01 | -0.08 | -0.001 | -0.097 |
| Superavit fiscal | 0.51 | 0.52 | 1.12 | 1.19 | 0.68 | 0.30 | 1.40 | 0.06 | 0.38 | 0.004 | 0.449 |
| Ahorro privado | -0.17 | -0.18 | -0.91 | -0.95 | -0.64 | -0.60 | -0.21 | -0.02 | -0.10 | -0.001 | -0.115 |
| Inversión | 0.13 | 0.14 | 1.20 | 1.25 | 0.74 | 0.54 | 0.86 | 0.03 | 0.20 | 0.001 | 0.236 |
| Empleo urbano | -0.81 | -0.87 | -3.66 | -3.92 | -2.22 | -1.14 | 1.08 | -0.16 | -0.80 | -0.01 | -0.964 |
| INGRESO | | | | | | | | | | | |
| Rural | -2.80 | -2.90 | -11.48 | -11.96 | -7.24 | -5.87 | 3.02 | -0.45 | -2.16 | -0.033 | -2.622 |
| Décil 01 | -1.58 | -1.65 | -6.67 | -7.01 | -4.32 | -3.31 | -2.47 | -0.22 | -1.08 | -0.017 | -1.308 |
| Décil 05 | -1.55 | -1.63 | -6.56 | -6.89 | -4.25 | -3.26 | -2.49 | -0.22 | -1.08 | -0.017 | -1.301 |
| Décil 10 | -1.83 | -1.93 | -7.85 | -8.28 | -5.04 | -3.81 | -5.08 | -0.24 | -1.14 | -0.018 | -1.384 |

La desaceleración de la actividad económica disminuye el empleo urbano en 0.8%. El efecto sobre los precios es inferior al que uno esperaría. El IPC se incrementa en 0.33%. La razón de este resultado es que las presiones inflacionarias generadas por el incremento en el precio de los refinados (gasolina) es en buena parte compensado con los efectos ingreso derivados de la desaceleración de la actividad económica. Como se indicó, se asume que los mayores recursos fiscales generados por esta política no son gastados, y por lo tanto el superávit fiscal como proporción del PIB se incrementa en 0.5 puntos porcentuales.

Se puede observar que esta política deteriora el ingreso real de los diferentes grupos de la población, especialmente en el sector rural (-2.8%), y en el decil urbano de mayores ingresos (-1.9%).

Con respecto al consumo de combustibles, se observa una sustitución en el consumo de refinados hacia los otros combustibles, particularmente gas natural y carbón. En efecto, el consumo de refinados cae en 8.6% mientras que el de gas se incrementa 6% y el de carbón 7.2%. Es interesante contrastar este resultado con el escenario de bajas elasticidades de sustitución entre combustibles. En este caso, el consumo de refinados cae solamente 3.1% y el consumo de gas natural y carbón se incrementa menos de 0.1%. La menor posibilidad de sustitución se refleja en una mayor caída del PIB en el escenario con bajas elasticidades (-0.97% frente a -0.91%).

Como se puede ver en el Cuadro 7, la estructura de la producción y los precios en los sectores industriales se ven significativamente afectados con el incremento en los precios de la gasolina. El sector que se ve más afectado es Tabaco, con una caída en la producción bruta de 3.4%, mientras que el mayor impacto de costos lo tiene el sector de minerales no metálicos, cuyos precios aumentan 3.7%.

El resultado en términos de emisiones es una caída de casi 2 puntos porcentuales en la contaminación hídrica y en la generación de residuos sólidos. Este resultado es efecto de la caída en la actividad económica. En el caso de la contaminación atmosférica, el efecto es

CUADRO No 7
IMPACTO ECONOMICO DE LA POLITICA AMBIENTAL
RESULTADOS SECTORIALES

| | Incremento del 20% Precios Refinados Altas Elasticidades | | Incremento del 20% Precios Refinados Bajas Elasticidades | | Ajuste en combustibles a costos de oportunidad Altas Elasticidades | | Ajuste en combus. a costos de oport. Bajas Elasticidades | | Ajustes en costos de oport. y en eficiencia | |
|------------------------|--|---------|--|---------|--|---------|--|---------|--|---------|
| | Prod | Precios | Prod | Precios | Prod | Precios | Prod | Precios | Prod | Precios |
| Otros alim. agropec. | -2.09 | 0.35 | -2.16 | 0.35 | -8.48 | 0.54 | -8.79 | 0.54 | -4.39 | -0.93 |
| Cranes | -0.08 | -2.07 | -0.08 | -2.16 | -0.37 | -9.30 | -0.39 | -9.68 | -0.23 | -6.02 |
| Transform de cereales | -1.30 | -0.48 | -1.35 | -0.50 | -5.45 | -2.79 | -5.70 | -2.89 | -3.31 | -2.19 |
| Lacteos | -1.81 | -4.34 | -1.89 | -0.36 | -7.51 | -2.34 | -7.85 | -2.44 | -4.52 | -1.99 |
| Azúcar | -1.51 | -0.08 | -1.56 | -0.10 | -6.09 | -1.52 | -6.33 | -1.62 | -3.36 | -1.76 |
| Bebidas | -2.36 | 0.46 | -2.47 | 0.48 | -9.80 | 1.16 | -10.27 | 1.21 | -5.82 | -0.16 |
| Tabaco | -3.39 | 0.68 | -3.52 | 0.67 | -13.52 | 1.55 | -14.05 | 1.52 | -8.54 | 0.55 |
| Textiles y cueros | -1.35 | -0.11 | -1.40 | -0.11 | -5.45 | -1.36 | -5.65 | -1.40 | -2.94 | -1.36 |
| Madera y muebles | -0.79 | -0.70 | -0.86 | -0.72 | -3.94 | -3.41 | -4.26 | -3.51 | -2.34 | -2.48 |
| Papel e imprentas | -1.56 | 0.21 | -1.65 | 0.24 | -7.84 | 2.18 | -8.23 | 2.33 | -4.09 | 0.01 |
| Químicos | -1.54 | 0.29 | -1.62 | 0.32 | -6.86 | 0.95 | -7.23 | 1.10 | -3.50 | -0.58 |
| Minerales no metalicos | -1.66 | 3.61 | -1.81 | 3.76 | -7.32 | 17.40 | -7.95 | 18.20 | -3.16 | 3.50 |
| Metal. no elaborados | -0.76 | -0.16 | -0.82 | -0.14 | -6.15 | 1.10 | -6.47 | 1.20 | -3.27 | 0.24 |
| Maquinaria | -0.52 | -0.21 | -0.56 | -0.20 | -6.15 | 0.55 | -6.38 | 0.63 | -2.55 | -0.46 |
| Equipo de transporte | -0.83 | 0.12 | -0.87 | 0.14 | -4.70 | 1.04 | -4.86 | 1.11 | -2.16 | -0.29 |
| Otras manufacturas | -1.57 | 0.15 | -1.64 | 0.18 | -8.31 | 1.36 | -8.60 | 1.43 | -4.57 | 0.21 |

| | Compensación en Inv. pública | | 20% de deval. | | Impto contamin por RESSOL | | Impto contamin para POLVO | | Impto contamin para CC | | Impto contamin para TODOS EN CONJUNT | |
|------------------------|---------------------------------|---------|---------------|---------|------------------------------|---------|------------------------------|---------|---------------------------|---------|---|---------|
| | Prod | Precios | Prod | Precios | Prod | Precios | Prod | Precios | Prod | Precios | Prod | Precios |
| Otros alim. agropec. | -3.63 | -0.91 | 2.32 | 3.03 | -0.45 | 0.18 | -2.60 | 1.17 | -0.03 | 0.01 | -3.07 | 1.36 |
| Cranes | -0.23 | -4.97 | -0.51 | 5.15 | -0.01 | -0.34 | -0.03 | -1.79 | 0.00 | -0.02 | -0.04 | -2.13 |
| Transform de cereales | -2.61 | -1.98 | -0.76 | 1.83 | -0.27 | 0.04 | -0.97 | -0.48 | -0.01 | -0.01 | -1.24 | -0.45 |
| Lacteos | -3.59 | -1.78 | -0.99 | 1.49 | -0.30 | -0.01 | -1.19 | -0.56 | -0.01 | -0.01 | -1.50 | -0.58 |
| Azúcar | -2.75 | -1.57 | 2.72 | 0.96 | -0.19 | -0.14 | -1.29 | -0.30 | -0.02 | -0.01 | -1.49 | -0.44 |
| Bebidas | -4.57 | -0.32 | -0.20 | 0.93 | -0.54 | 0.32 | -2.00 | 0.59 | -0.08 | 0.07 | -2.60 | 0.99 |
| Tabaco | -7.05 | 0.58 | -2.51 | 0.93 | -0.27 | -0.09 | -2.05 | 0.05 | -0.02 | 0.00 | -2.33 | -0.05 |
| Textiles y cueros | -2.43 | -1.40 | 6.41 | 5.16 | -0.35 | 0.08 | -0.72 | -0.55 | -0.02 | 0.00 | -1.08 | -0.47 |
| Madera y muebles | 1.22 | -2.31 | 0.78 | 1.93 | -0.83 | 1.11 | -0.96 | -0.49 | -0.02 | 0.01 | -1.80 | 0.63 |
| Papel e imprentas | -3.33 | -0.11 | 2.71 | 3.53 | -0.21 | -0.04 | -3.07 | 2.67 | -0.03 | 0.02 | -3.30 | 2.65 |
| Químicos | -2.70 | -0.74 | 2.40 | 5.58 | -0.30 | 0.10 | -1.83 | 0.71 | -0.02 | 0.01 | -2.14 | 0.82 |
| Minerales no metalicos | -0.26 | 3.26 | 3.05 | -0.17 | -0.29 | 0.43 | -3.73 | 12.31 | -0.02 | 0.02 | -4.00 | 12.77 |
| Metal. no elaborados | -2.18 | 0.01 | 6.84 | 9.21 | -0.84 | 0.61 | -4.16 | 3.02 | -0.01 | 0.00 | -4.94 | 3.62 |
| Maquinaria | -1.87 | -0.69 | 5.59 | 12.03 | -0.37 | 0.09 | -1.18 | -0.16 | -0.01 | 0.00 | -1.54 | -0.07 |
| Equipo de transporte | -1.84 | -0.52 | 2.11 | 9.37 | -0.17 | 0.04 | -0.93 | 0.06 | -0.01 | 0.00 | -1.09 | 0.09 |
| Otras manufacturas | -2.95 | -0.02 | 4.38 | 8.49 | -0.27 | 0.02 | -1.27 | -0.10 | -0.01 | 0.00 | -1.54 | -0.09 |

CUADRO No 8
IMPACTO ECONOMICO DE LA POLITICA AMBIENTAL
RESULTADO DE EMISIONES TOTALES Y SECTORIALES

| | 20% Precios Refinados A.E. | 20% Precios Refinados B.E. | Ajuste Costos de Oport. A.E. | Ajuste Costos de Oport. B.E. | Ajuste Costos de Oport. y eficiencia |
|--------------|----------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|--|
| TOTAL | | | | | |
| DBO | -1.81 | -1.89 | -7.76 | -8.13 | -4.34 |
| DQO | -1.76 | -1.84 | -7.61 | -7.99 | -4.29 |
| SST | -1.98 | -2.08 | -8.42 | -8.89 | -4.64 |
| RESSOL | -1.30 | -1.38 | -6.50 | -6.85 | -3.43 |
| POLVO | 2.44 | -0.74 | -11.29 | -8.39 | -30.43 |
| SOx | -2.59 | -1.78 | -14.07 | -8.48 | -33.33 |
| NOx | -5.28 | -2.54 | -9.76 | -8.14 | -30.20 |

CONS. COMBUSTIBLES

| | | | | | |
|-------------|-------|-------|-------|-------|--------|
| Refinados | -8.60 | -3.06 | -9.88 | -7.50 | -30.44 |
| Petróleo | 1.64 | 0.14 | -6.18 | -2.56 | -29.81 |
| Gas Natural | 6.01 | 0.06 | 28.15 | -0.40 | -0.72 |
| Carbon | 7.25 | 0.17 | 9.58 | -4.21 | -14.77 |

| | Ajuste Costos Eficiencia e Inv. pública | 20% de deval. | Impto contam. por RESSOL | Impto contam. para POLVO | Impto contam. para CC | Impto contam. Total |
|--------------|---|---------------|-----------------------------|-----------------------------|--------------------------|------------------------|
| TOTAL | | | | | | |
| DBO | -3.32 | 1.43 | -0.42 | -1.95 | -0.04 | -2.40 |
| DQO | -3.20 | 1.42 | -0.41 | -1.85 | -0.05 | -2.29 |
| SST | -3.17 | 1.23 | -0.42 | -2.31 | -0.05 | -2.76 |
| RESSOL | -2.04 | 3.30 | -0.51 | -2.36 | -0.02 | -2.86 |
| POLVO | -29.01 | 3.70 | -0.39 | -3.47 | -0.02 | -3.84 |
| SOx | -31.95 | 2.62 | -0.24 | -3.04 | -0.02 | -3.28 |
| NOx | -28.59 | 2.79 | -0.31 | -3.21 | -0.02 | -3.51 |

CONS. COMBUSTIBLES

| | | | | | | |
|-------------|--------|------|-------|-------|-------|-------|
| Refinados | -29.39 | 2.75 | -0.29 | -2.35 | -0.02 | -2.71 |
| Petróleo | -29.63 | 1.07 | -0.10 | -0.60 | 0.00 | -0.69 |
| Gas Natural | 0.81 | 2.70 | -0.29 | -2.52 | -0.02 | -2.89 |
| Carbon | -12.87 | 3.09 | -0.29 | -3.26 | -0.02 | -3.66 |

ampliado por la sustitución entre combustibles de diferente impacto contaminante. El mayor consumo de gas natural permite que las emisiones de Nox y Sox se disminuyan en 5.3% y 2.6% respectivamente. Sin embargo, el mayor consumo de carbón aumenta la contaminación por partículas suspendidas en 2.4%. Se puede observar que en el escenario con bajas elasticidades el cambio en emisiones es mucho menor: sólo 2.5% en Nox y 1.8% en Sox. En este caso la contaminación con partículas disminuye ligeramente (-0.7%). Este resultado ilustra un hecho frecuentemente señalado en la literatura: la efectividad de la política ambiental depende directamente del grado de sustitución entre insumos en la producción, y entre los bienes de la demanda final. Entre menores sean las posibilidades de sustitución, menor efectividad tendrá la política ambiental.

2. Ajuste del Precio de los Combustibles a sus Costos de Oportunidad (I)

Los experimentos 2 a 4 están orientados a analizar el efecto de ajustar los precios de los combustibles (petróleo, gas, carbón y refinados) a sus costos de oportunidad. Es sabido que los precios de los energéticos, y en particular de los combustibles en Colombia, están distorsionados, tanto en nivel como en estructura, con respecto a sus verdaderos costos de oportunidad. Con el fin de el monto del ajuste requerido se utilizó información del estudio de Perry y Lora (1992) del cual se reproduce una estimación de los precios vigentes y los costos de oportunidad de cada uno de los combustibles.

Se debe señalar que los costos de oportunidad calculados en este estudio no toman en cuenta ninguna valoración del impacto ambiental diferencial de cada combustible. Para incorporar, este criterio de una manera intuitiva, se asumió que los precios del gas natural sólo se incrementan 10%, lo cual implica un abaratamiento considerable de este combustible en relación con los otros. Así por ejemplo, los precios del petróleo crudo se incrementan un 98%, los de los refinados un 65%, y los del carbón 30%. Este último incremento debería haber sido mayor pero el modelo presentaba problemas de convergencia cuando se especificaban incrementos mayores al 30%.

El experimento 2A analiza el mismo caso pero con elasticidades de sustitución bajas entre los combustibles.

Como se observa en el Cuadro 6, el ajuste de los precios de los combustibles tiene un enorme efecto recesivo: el PIB disminuye 4% y el consumo 7%. La inflación es de sólo 1.12% en razón a la magnitud de la caída de la actividad económica. Asó mismo, tanto la contracción del gasto, como las rentas generadas por los mayores precios de los combustibles permiten incrementar el superávit fiscal en 1.12 puntos porcentuales como proporción del PIB. El empleo urbano cae en 3.7% y los ingresos reales de la población disminuyen considerablemente, especialmente los ingresos rurales (-11.5%). Los ingresos urbanos disminuyen alrededor de 7% y los del decil más alto de ingresos en 8.3%. La magnitud del ajuste se refleja en la estructura sectorial de la producción y de los precios. La producción del sector tabaco cae, por ejemplo, en 13% y los precios de los minerales no metálicos se aumentan en 17%. En general, aumentan los precios de los bienes manufacturados intermedios y de los bienes de capital, mientras que disminuyen los de los bienes de consumo. La explicación está en la dependencia con respecto al consumo de combustibles. Los bienes de consumo tienen una menor dependencia energética y por lo tanto el impacto de costos es menor al efecto recesivo proveniente de la actividad económica. Por el contrario, los bienes intermedios y de capital, con grandes requerimientos de consumo de combustibles, resienten un enorme impacto sobre costos que es más que proporcional al efecto adverso de las ventas.

El escenario con bajas elasticidades de sustitución es algo peor, aunque no demasiado. Por el contrario, la estructura de consumo de los combustibles sí se altera significativamente cuando las posibilidades de sustitución son limitadas: mientras que en el escenario con altas elasticidades hay una enorme sustitución hacia gas natural, cuyo consumo crece 28%, y en menor medida hacia carbón (9%), en el escenario con bajas elasticidades disminuye el consumo de todos los combustibles, aún del gas natural.

El efecto sobre emisiones es también sensible al grado de sustitución entre combustibles. Con altas posibilidades de sustitución, las emisiones atmosféricas disminuyen entre 10% y 15%. Con bajas elasticidades dicha disminución es del 8%. Sin embargo, en ambos casos la contaminación hídrica y la generación de residuos sólidos disminuye en forma equivalente (alrededor del 8%), dado que estas emisiones guardan relación con el nivel de la producción y no directamente con el consumo de combustibles.

3. Ajuste del Precio de los Combustibles a sus Costos de Oportunidad (II): Ajustes por Eficiencia

El experimento 3 toma en cuenta el hecho de que al alinear los precios a sus costos de oportunidad se pueden esperar mejoras en eficiencia por un mejor uso de los recursos en general y particularmente de los combustibles. Detrás de esta idea está la concepción de que las actividades productivas frecuentemente se caracterizan por tener niveles relativamente altos de ineficiencia, lo que conlleva un desperdicio de recursos energéticos y no energéticos, que está directamente asociado a las distorsiones de los precios con respecto a sus costos de oportunidad.

Con el fin de calcular la magnitud de los ajustes por eficiencia se utilizaron las estimaciones de Ramírez (1995) sobre los niveles de eficiencia técnica relativa en la industria manufacturera colombiana en 1990 y 1991, con base en la estimación de fronteras de producción. Se asumió que como consecuencia del ajuste de precios de los combustibles la eficiencia energética (dada por el coeficiente del consumo de combustibles en el consumo intermedio total) se incrementaba (es decir, el coeficiente disminuía) en una proporción igual al 80% de la diferencia entre la frontera y el grado de eficiencia relativa promedio de cada sector para esos años. El Cuadro No. 9 presenta los niveles de eficiencia relativa para cada uno de los sectores manufactureros del modelo.

Los resultados de esta simulación muestran que si los agentes económicos ajustan sus patrones de uso de los recursos, y particularmente de los recursos energéticos como consecuencia del ajuste en los precios de los combustibles a sus precios de eficiencia, la contaminación atmosférica se reduce en casi una tercera parte. Este ajuste por eficiencia, ha sido reiteradamente señalado en la literatura sobre energía y medio ambiente. Por ejemplo, Anderson y Cavendish (1992) -citado en World Development Report 1992- calculan, con respecto al sector eléctrico, que dado un nivel de sobre-costos de alrededor del 50% por

CUADRO No. 9

EFICIENCIA RELATIVA PROMEDIO
1990-1991 (%)

| SECTOR | CIU | EFICIENCIA |
|---|-----|------------|
| Industrias Básicas de Hierro y Acero | 371 | 86.9 |
| Industrias del Tabaco | 314 | 82.1 |
| Industrias del Cuero | 323 | 79.1 |
| Maquinaria Eléctrica | 383 | 78.0 |
| Sustancias Químicas | 351 | 77.2 |
| Muebles | 332 | 76.4 |
| Equipo Profesional | 385 | 75.8 |
| Vidrio | 362 | 74.2 |
| Manufacturas Diversas | 390 | 73.3 |
| Industrias de la Madera | 331 | 73.2 |
| Papel | 341 | 72.9 |
| Productos Minerales No Metálicos | 369 | 72.2 |
| Otros Productos Químicos | 352 | 71.8 |
| Productos de Caucho | 355 | 71.1 |
| Prendas de Vestir | 322 | 70.4 |
| Imprentas y Editoriales | 342 | 69.7 |
| Calzado | 324 | 68.4 |
| Industrias de Bebidas | 313 | 67.9 |
| Textiles | 321 | 67.8 |
| Otros Alimentos | 312 | 67.7 |
| Alimentos | 311 | 67.1 |
| Equipo y Material de Transporte | 384 | 65.4 |
| Productos Plásticos | 356 | 64.2 |
| Objetos de Barro, Loza y Porcelana | 361 | 63.9 |
| Industria Básica de Metales No Ferrosos | 372 | 61.9 |
| Maquinaria No Eléctrica | 382 | 61.0 |
| Productos Metálicos | 381 | 52.5 |

problemas de ineficiencia, el ajuste de los precios a sus niveles de eficiencia, generarían una disminución en las emisiones atmosféricas del 26%, con respecto al escenario sin ajuste en los precios de la energía. Este estudio también señala un aspecto que aparentemente tiene también aplicación al caso colombiano: la magnitud en la reducción de las emisiones atmosféricas es incomparablemente menor si al mismo tiempo que se implementan las reformas de precios, se incorporan tecnologías y prácticas de control a la polución.

Ahora bien, gracias a los ajustes por eficiencia, el impacto recesivo de los ajustes en los precios de los combustibles, es parcialmente contrarrestado: el PIB cae 1.97% en lugar de la caída de 4.3% que tendría lugar si no se realizan las mejoras en eficiencia. La reducción de costos que conlleva la mayor eficiencia es sorprendente en algunos casos: el sector de minerales no metálicos, cuya nivel de eficiencia relativa era del 70%, los precios no crecerían 18% sino 3.5%. En la mayoría de los sectores los costos disminuirían (con respecto al escenario sin ajuste de eficiencia) entre 1 y 2 puntos porcentuales.

4. Ajuste del Precio de los Combustibles a sus Costos de Oportunidad (III): Ajustes por Eficiencia y Política Fiscal Compensatoria

El experimento 4 considera el ajuste de los precios de los combustibles a sus costos de oportunidad con ajustes por eficiencia, y al mismo tiempo tiene en cuenta la aplicación de políticas compensatorias de orden fiscal, que consisten en incrementar el gasto público en una magnitud igual a los recursos fiscales generados por el incremento en los precios de los combustibles.

Los resultados de esta simulación muestran que cuando los ajusten por eficiencia son acompañados de una política fiscal compensatoria, los efectos recesivos sobre el PIB generados por los incrementos en los precios de los combustibles son contrarrestados en una alta proporción de tal manera que el PIB sólo disminuye en 0.8%. Esta cifra es comparable con el efecto que tiene un incremento del 20% en los precios de los refinados del petróleo como se ilustró en el Experimento 1.

Pero más significativo es el hecho de que la reducción en las emisiones atmosféricas permanecen prácticamente iguales. En efecto, mientras que la reducción en la emisión de partículas era de 30.4%, a pesar del efecto expansivo de la mayor inversión pública dicha reducción es de 29.4%. Algo similar ocurre con las emisiones de Nox y Sox.

B. Incentivos Directos: Tasas por Contaminación

Los experimentos 5 a 8 analizan el impacto económico de la fijación de tasas por contaminación. Estas son calculadas por el modelo con base en el monto de emisiones para cada sector en el año base y de información sobre los costos de tratamiento extraídos de diferentes fuentes, tal como se explica a continuación.

Es importante señalar dos aspectos para la interpretación de los resultados del modelo con respecto al efecto de la aplicación de las tasas por contaminación sobre las emisiones:

- En los experimentos no se asume que los ingresos recaudados por la aplicación de las tasas se dedican a la recuperación del recurso, caso en el cual, el impacto sobre reducción de emisiones sería directamente proporcional al monto de recursos destinados a este objetivo. En los experimentos los mayores recaudos simplemente contribuyen a incrementar el superávit fiscal.
- El modelo no incorpora la posibilidad de adopción de tecnologías de control. Sin embargo, la cuantificación del peso relativo del impuesto dentro de la estructura de costos de los sectores constituye un buen indicador de cuál sería el incentivo para adoptar tecnologías y procesos de control con el fin de disminuir emisiones en lugar de pagar las tasas, e inversamente, de cuál sería el margen de costo dentro del cual

debería ubicarse una tecnología limpia con el fin de que existiera un incentivo para adoptarla por parte de los productores.

1. Tasas por Contaminación Hídrica

En el caso de las tasas por contaminación hídrica se utilizaron los cálculos del estudio de Rafael Cubillos (1995). De acuerdo con este estudio, para un grado de control del 60%, el costo de tratamiento de un kilogramo de carga contaminante por día es de \$6.18 (pesos de 1994). A su vez, la carga contaminante (CC) es definida como:

$$CC = (2 * DBO + DQO) / 3 + SST$$

donde:

DBO: Demanda Biológica de Oxígeno

DQO: Demanda Bioquímica de Oxígeno

SST: Sólidos Suspendidos Totales

El monto del impuesto por contaminación hídrica (Th) en un sector específico es calculado como:

$$Th = t * CC$$

donde t es la tasa de impuesto por ton/día, tal como se definió previamente.

El Cuadro No. 10 muestra el incremento porcentual en los impuestos anuales que pagaría cada sector si se aplicaran las tasas por contaminación hídrica. El sector que sería más afectado es el de Papel, Imprentas y Editoriales, con un aumento del 4% en sus pagos

tributarios. Minerales no Metálicos tendría un aumento cercano al 3%, y para los otros sectores dicho incremento sería inferior al 2%, y en muchos casos inferior al 1%.

Este resultado sugiere por lo tanto que la aplicación de tasas por contaminación hídrica, para un grado de control del 60%, no generaría sobre-costos significativos en la economía. Los resultados sectoriales muestran en efecto, caídas inferiores al 0.02% en la producción bruta manufacturera. El impacto más grande sería sobre el sector Bebidas, cuya producción bruta disminuiría en 0.07%. También es este el sector con un mayor impacto de costos, por lo cual los precios se incrementarían en una tasa similar (0.068%).

Como es de esperarse por los anteriores resultados, el efecto macroeconómico de la aplicación de tasas por contaminación hídrica es muy marginal: el PIB disminuye en 0.01% y el consumo en 0.02%. Los mayores recursos fiscales incrementan el superávit fiscal como proporción del PIB en 0.004%.

Con respecto a las emisiones, se observa una ligera caída de la contaminación hídrica en 0.05%, como resultado de la mayor caída de la actividad en sectores como bebidas, que contribuyen en alto grado a la contaminación hídrica.

Tal como se indicó en la primera parte de esta sección, esta disminución de las emisiones constituye la “base mínima” de reducción. El uso de los recaudos para la recuperación de los cuerpos de agua, o la adopción de tecnologías de un costo inferior al pago de las tasas, conllevarían una reducción de la contaminación hídrica probablemente mucho mayor a la que aparece en este resultado.

2. Tasas por Contaminación con Residuos Sólidos

En el caso de la generación de residuos sólidos, el estudio de Sánchez y Herrera (1994) calcula que el tratamiento adecuado de una tonelada de residuos sólidos en el contexto internacional está entre US\$50 y US\$90. Asumiendo un valor de US\$80, a la tasa de cambio de 1994 se calculó la tasa por tonelada/día de producción de residuos sólidos (\$66800).

El Cuadro 10 muestra que el incremento en los pagos de impuestos por la aplicación de tasas por generación de residuos sólidos, son, para casi todos los sectores muy significativos. Los mayores incrementos se presentan en las industrias metálicas (171%) y en las industrias de minerales no metálicos (59%).

Como resultado de la aplicación de la tasa el PIB cae en 0.15% y la inflación se incrementa en 0.05%.

Los sectores industriales más afectados son Madera y Muebles, y el sector de Minerales no Metálicos con una caída en la producción mayor al 0.8%. En el caso del sector de maderas, los precios se incrementan mas de un punto porcentual, y en 0.6% en el caso de minerales no metálicos.

3. Tasas por Contaminación Atmosférica (Partículas Suspendidas)

Con base en el mismo estudio, se utilizó la información del Cuadro "Comparación de Diferentes Sistemas de Tratamiento de Emisiones Atmosféricas", que estima un costo de \$2 millones (para una eficiencia del 60% a 70% de retención de partículas) por 1000 m3 de gas a tratar.

La aplicación de estas tasas genera un incremento enorme en el pago de impuestos de cuatro sectores industriales: papel (con un incremento de 502%), químicos (100%), minerales no

metálicos (1532%) e industria metálicas (907%). Este resultado sugiere, naturalmente, que el campo para la adopción de tecnologías y procesos de control sería bastante grande.

Asumiendo que dichas tasas se hacen efectivas, el PIB disminuiría en 0.8% y el consumo en 1.2%. El incremento en la inflación sería de 0.3%, y los recaudos aumentarían el superávit fiscal en 0.38 puntos porcentuales como proporción del PIB.

La aplicación de la tasa tiene efectos considerables sobre la estructura industrial: la industria de papel e imprentas tiene una caída en la producción 3%, y la de minerales no metálicos y metálicos no elaborados del 4%. Los precios de estos sectores aumentan significativamente por el impacto de los mayores costos, especialmente el sector de minerales no metálicos cuyos precios aumentan 12%.

4. Tasas Globales por Contaminación

En este caso se modifican las tasas de impuestos tomando en cuenta las tasas por contaminación hídrica, las tasas por generación de residuos sólidos y las tasas por emisión de partículas.

Los resultados, en términos de actividad económica, ajuste sectorial y precios son similares a los del experimento anterior. En particular, el PIB disminuye 0.98%, es decir, una magnitud igual a la reducción generada por un incremento del 20% en los precios de la gasolina y los refinados del petróleo.

Cabe destacar el impacto sobre emisiones (sin tener en cuenta, como ya se ha indicado, la posible adopción de tecnologías o el uso de los recursos fiscales con fines de saneamiento ambiental). Las emisiones ligadas a la producción (contaminación hídrica y residuos sólidos) disminuyen alrededor de 2.5% y las emisiones atmosféricas en 3.5%. Se observa que no sólo

disminuye la contaminación por partículas suspendidas, sino también las emisiones de Nox y Sox. Este resultado ilustra la complementariedad que puede existir en el control de la contaminación de diferentes tipos de contaminantes.

C. Políticas Macroeconómicas: Devaluación de la Tasa de Cambio

Con el fin de ilustrar el uso del modelo para analizar el impacto sobre emisiones de políticas macroeconómicas, sectoriales, etc., en el experimento 9 se simula una devaluación nominal de la tasa de cambio del 20%.

El efecto de la devaluación es expansivo. El PIB crece 0.6% y el empleo urbano 1%. Las exportaciones crecen 6.7% y las importaciones disminuyen en 7.5%, con lo cual el déficit en cuenta corriente disminuye 0.33% como proporción del PIB.

Los sectores más favorecidos por la devaluación son: textiles e industrias metálicas (con un crecimiento de la producción bruta mayor al 6%), maquinaria (5.6%), otras manufacturas (4.4%) y minerales no metálicos (3%).

La devaluación genera presiones de costos importantes en la industria productora de bienes de capital, y en otras industrias como químicos y textiles. De hecho, el impacto inflacionario de la devaluación es considerable: el IPC se incrementa 4.1%.

La expansión de la actividad económica, y el tipo de sectores favorecidos por la devaluación, parecen tener un efecto significativo sobre las emisiones. En particular, la contaminación por partículas suspendidas se incrementa en casi 4%, y la generación de residuos sólidos en 3.3%.

Este, y los anteriores resultados sugieren una elasticidad de la polución al crecimiento del producto significativamente mayor que uno, especialmente en el caso de la contaminación

atmosférica. Esto significa que el crecimiento del producto genera un incremento más que proporcional en las emisiones de contaminantes.

D. Incremento en el precio de los vehículos por la imposición de convertidores catalíticos

La imposición de convertidores catalíticos se ha simulado como un incremento en el precio de los vehículos. Diferentes informaciones sugieren que la instalación de un convertidor catalítico por vehículo oscilaría entre \$400.000 y \$600.000 (precios de 1994). Aquí se opta por un margen mayor y se asume que los sobre-costos generados por dicha medida equivalen a un incremento del 1% en el precio de los vehículos.

Este es un incremento genérico, tanto en los vehículos producidos domésticamente como en los importados. Sin embargo, una limitación del modelo para efectuar este análisis es que no toma en cuenta stocks (como el parque automotriz) y por lo tanto el incremento en el precio de los vehículos opera únicamente sobre los nuevos vehículos. Esta limitación es parcialmente subsanada por el hecho de que los hogares gastan en repuestos, cuyos precios también se incrementan con el ajuste de precios de los vehículos.

El problema de la no consideración de stocks, y especialmente de la edad del parque automotor, subsiste sin embargo para hacer cualquier cálculo de emisiones vehiculares. Adicionalmente, este modelo se centra, como ya se ha indicado varias veces, en el análisis de la contaminación industrial. Por estas razones, los resultados de la imposición de convertidores catalíticos en los automóviles se centra en el análisis de los efectos sobre la actividad económica del sector automotriz, y sobre las decisiones de inversión (compra de vehículos de los hogares).

Para la simulación de esta política se cambió ligeramente la especificación del modelo: en primer lugar se asume que el precio de los vehículos es fijo o que está exógenamente determinado (en las otras especificaciones se asume fijación de precios por markup).

Adicionalmente, se asume que la composición del gasto en inversión (compra de bienes durables) de los hogares y el resto del sector privado responde a los precios relativos de los bienes de inversión, lo cual fué modelado a través de demandas tipo Cobb-Douglas (y por lo tanto se admiten posibilidades de sustitución entre bienes de inversión), mientras que en las otras especificaciones se asumía una estructura fija en términos de gasto real (es decir, no se admitían posibilidades de sustitución).

Los efectos de equilibrio general de esta política son prácticamente nulos¹⁰. El PIB decrece en un 0.000075% y el empleo urbano queda prácticamente igual.

Los efectos sobre el sector automotriz, son obviamente más importantes, pero aún siguen siendo relativamente pequeños. La producción nacional automotriz disminuye en 0.701%, y las importaciones de vehículos de crecen en una proporción casi igual (0.69%). De otro lado, las exportaciones caen en 0.892%. Sin embargo, este cálculo asume que también se instalan convertidores catalíticos en los automóviles exportados, y por eso su pérdida de competitividad. En la práctica, este sobre-costos no existiría puesto que en los mercados regionales a los cuales van dirigidas las exportaciones, no existen normas que impongan el uso de convertidores catalíticos en los automóviles.

Finalmente, la inversión en equipo de transporte (compra de vehículos) del sector privado se reduce en 0.78%.

En síntesis, la imposición de convertidores catalíticos en los vehículos automotores tiene un bajo costo económico, mientras que los beneficios derivados de las menores emisiones vehiculares son probablemente mucho mayores. El sector automotriz se ve marginalmente afectado, en la medida en que en todo caso se le impone un sobre-costos que transmite a los

¹⁰ Por esta misma razón, esta política probablemente podría ser analizada en una forma más adecuada con un modelo sectorial (de equilibrio parcial) que tomara en cuenta la distribución del parque automotor por edad y tipo de vehículo, con sus coeficientes de emisión correspondientes.

precios, y que disminuye en algo la compra de vehículos de los hogares.

Quizás las mayores complicaciones para la imposición de esta medida son de orden administrativo y de decisión política, ya que desde el punto de vista económico sería más que justificada. Hay sin embargo complicaciones que no pueden ser analizadas con el modelo como ocurre con respecto a la instalación de convertidores catalíticos en vehículos usados. Como ya se indicó, una evaluación más adecuada de esta política debe hacerse con un instrumento sectorial que tome en cuenta la composición y edad del parque automotriz.

En conjunto, las simulaciones que se realizaron con el modelo muestran los alcances, pero también los límites de la utilización de instrumentos económicos directos o indirectos en la política ambiental cuando sólo se consideran los ajustes inducidos por efectos sustitución e ingreso en la producción y en la demanda. En algunos casos se obtiene una reducción significativa de las emisiones, siempre y cuando los agentes económicos sean inducidos a ser más eficientes en el uso de los recursos, y de los energéticos en particular. Con todo, el costo en términos de crecimiento e ingreso real puede ser considerable. Reducir la polución en una tercera parte, involucrando ajustes de eficiencia, puede significar la pérdida de un punto de crecimiento del PIB. Pero este costo será indudablemente menor, si las políticas de incentivos implican, como deberían hacerlo, la adopción de tecnologías de control y de procesos menos contaminantes.

Un estudio necesario, es por supuesto, el tratar de cuantificar la magnitud del cambio técnico de menor impacto contaminante inducido por la aplicación de las tasas por contaminación, y de otros instrumentos económicos. Desafortunadamente, se carece en este momento de la información necesaria y probablemente se requerirán estudios a nivel de firma y en sectores específicos, para generar la información primaria que pueda ser posteriormente incorporada en el modelo.

REFERENCIAS

Ballard, C.L, J.B. Shoven and J. Walley (1985) "General Equilibrium Computations of The Marginal Welfare Costs of Taxes in the U.S." *American Economic Review*, 75: 128-38.

Bergman, Lars (1990) "Energy and Environmental Constraints on Growth: A CGE Modeling Approach", *Journal of Policy Modeling*, 12(4).

Conrad, Klaus (1992) "Applied General Equilibrium Model for Environmental Policy Analysis", *Discussion Paper*, Mannheim University.

Jorgenson, D. and Peter Wilcoxon (1990b) "Intertemporal General Equilibrium Modeling of U.S. Environmental Regulation", *Journal of Policy Modeling*, 12:1-30.

Jorgenson, D. and Peter Wilcoxon (1993) "Energy, the Environment and Economic Growth, In: A. V. Kneese and J.L. Sweeney (eds.) *Handbook of Natural Resources and Energy Economics*, Vol 3. (*).

Lopez, Ramon (1994) "The Environment as a Factor of Production: The Effects of Economic Growth and Trade Liberalization", *Journal of Environmental Economics and Management*, 27, September.

Ramírez, Juan Mauricio (1993) "Poder de Mercado, Economías de Escala y Crecimiento de la Productividad en la Industria Manufacturera Colombiana (1974-1989)", *Mimeo*, Informe de Investigación presentado a Fonade.

ANEXO

METODOLOGÍA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA MATRIZ DE COEFICIENTES DE EMISIÓN

Contaminación Hídrica : Se tomaron las cifras proporcionadas por Rafael Cubillos de la UDE del DNP, estas vienen clasificadas por código CIU a 3 y 4 dígitos y se refieren a la cantidad de Demanda Bioquímica de Oxígeno en toneladas/día para los años de 1989 y 1994. El factor de contaminación DBO Ton/Mil\$PROD se halló tomando la concentración para 1989, esta se multiplico por la producción de 1994 para conseguir el total de carga contaminante en este período. Del estudio de Carrasquilla y Morillo (1992) se toman las estadísticas de DQO y luego se hallan los coeficientes dividiendo por los datos de producción entregados por la EAM de 1989. Se adicionan los Sólidos Suspendidos con información extractada del mismo estudio y se construyen los coeficientes siguiendo la misma metodología.

Residuos sólidos industriales : Con base en los estudios de Vargas, Prieto y Casas (1992) en la cual se hizo una primera evaluación de la generación y el resultado de la validación del programa Invent, llevada a cabo en Latinoamérica, Vargas, Sánchez y Herrera (1994) estiman unos índices que miden el peso de residuos generados por empleado, en unidad de tiempo determinada (Ton/empleado/día) para 1991, los cuales al dividirse por el número de empleados entregan cifras en términos de Ton/día. Los anteriores resultados son recogidos por Fedesarrollo, se estiman anualmente y luego se dividen por la producción bruta a precios corrientes en millones de pesos de 1991, con el fin de encontrar así el factor que representa las Toneladas de emisión de residuos sólidos generados por millón de pesos producido en la industria nacional.

Contaminación Atmosférica : para esta categoría unicamente se tienen los datos de contaminación segun tipo industrial elaborados por el JICA para la ciudad de Bogotá, ha sido imposible conseguir el estudio hecho por Germán Gómez et al. " Diagnostico y Control de la Contaminación atmosferica de origen industrial en Colombia ", DNP - PNUD, cuyos resultados son la información más reciente en cuanto a este tema se refiere.

Con base en ellos se elaboran coeficientes de Polvo, NOx y SOx, por millon de pesos producidos y por millon de pesos consumidos en combustibles, para el corredor industrial Bogotá- Soacha.

La estimación de los anteriores coeficientes debe tomarse como preliminar entre tanto se revisa la información existente en la Unidad de Soporte del Ministerio del Medio Ambiente, y en otras posibles fuentes. Una modificación que sería de gran importancia es la introducción de coeficientes de emisión específicos a cada sector variables de acuerdo al tipo de combustible utilizado. En efecto, hasta este momento, los coeficientes de emisión están asociados a unidad de producción (en contaminación hídrica y de resis sólidos), o a unidad de consumo de combustibles (en el caso de la contaminación atmosférica). Es claro que un mismo nivel de consumo de combustibles tiene un impacto contaminante distinto si el componente principal es carbón mineral o gas natural. Se debe incorporar este hecho dentro del modelo, aunque la información sea completamente preliminar.

UN MODELO DE EQUILIBRIO GENERAL PARA EL ANALISIS DE LAS POLITICAS AMBIENTALES EN COLOMBIA

ANEXO AL INFORME FINAL

Diciembre 12, 1995

**Juan Mauricio Ramírez
FEDESARROLLO**

El presente documento contiene las respuestas a las sugerencias e inquietudes formuladas por la Unidad de Política Ambiental del DNP acerca del informe final del proyecto “Un Modelo de Equilibrio General para el Análisis de la Política Ambiental en Colombia”.

El documento consta de tres partes: en la primera se describe el proceso de actualización de la Matriz de Contabilidad Social que sirve de base al modelo y que le permite reproducir aproximadamente la estructura económica y productiva de la economía colombiana en el período 1991-1994. En la segunda sección se analiza el impacto macroeconómico, tributario y sectorial de imponer el esquema de tasas por contaminación hídrica propuestas por Económica Consultores (1995). Finalmente, en la tercera sección se incluye el Anexo que contiene la documentación del modelo modificada para tomar en cuenta las anteriores simulaciones.

I. ACTUALIZACION DE LA SAM PARA COLOMBIA

La base contable del modelo está dada por la Matriz de Contabilidad Social (SAM) para Colombia. Las características básicas de esta matriz fueron expuestas en el primer

informe parcial de la investigación. Erróneamente se afirmó en el informe que dicha SAM correspondía al año 1990. En realidad, la SAM que se utilizó corresponde al año de 1994. En efecto, dada la alta prioridad que Fedesarrollo le ha dado a la utilización de Modelos de Equilibrio General, un trabajo básico dentro de la institución ha sido la actualización permanente de la Matriz de Contabilidad Social que sirve de base para las proyecciones de mediano y largo plazo. Por esta razón, la SAM más actualizada que posee Fedesarrollo es la de 1994.

A continuación se describen en forma más detallada las características del proceso de actualización de la SAM con el fin de que se puedan apreciar sus ventajas y también sus limitaciones. Adicionalmente, se explican las limitaciones que debieron enfrentarse para la actualización de la SAM construida para el análisis ambiental.

1. El proceso de actualización de la SAM

Una buena parte de la información necesaria para la actualización de la SAM no está usualmente disponible excepto dos o tres años después del año al cual se quiere actualizar la SAM. Así por ejemplo, la actualización de la SAM para 1994 requiere la información de Cuentas Nacionales (que se tiene a nivel agregado pero no a nivel sectorial), información insumo-producto, exportaciones e importaciones a nivel sectorial, ingresos y gastos del sector público consolidado, distribución del ingreso entre factores y grupos institucionales, etc.

Puesto que buena parte de esta información no está aún disponible, el procedimiento de actualización consiste en alimentar el modelo de cambios en un conjunto de variables exógenas de las cuales sí se posee información, o de las cuales se pueden hacer supuestos razonables (“informados”) y generar una nueva SAM con base en la corrida del modelo incorporando dichos cambios. Por lo tanto, esta nueva SAM describe en

forma aproximada la estructura de la economía colombiana en el siguiente año, es decir, una vez los ajustes inducidos por los cambios en las variables exógenas han tenido lugar.

Se debe señalar que dichas variables exógenas tienen ese carácter de exogeneidad desde el punto de vista del Modelo de Equilibrio General, particularmente en su versión de corto plazo. La siguiente es una lista de las principales variables exógenas que usualmente son utilizadas en la actualización periódica de la SAM para Colombia:

- * Cambio de aranceles
- * Cambio en los coeficientes de penetración exógenos de importaciones
- * Cambios en productividad total por sectores
- * Cambios en la productividad laboral de los sectores industriales
- * Cambio en la productividad en el uso de servicios intermedios
- * Cambios en las tasas de tributación
- * Cambios en el IVA
- * Cambios en otros impuestos indirectos (especialmente impuestos a los combustibles)
- * Cambios en las tasas impositivas directas
- * Cambio tasas cotización al ISS
- * Cambios de precios externos de las exportaciones

- * Demandas exogenas de exportaciones
- * Cambios de precios externos de las importaciones
- * Cambios en servicios factoriales y transferencias
- * Cambios en cuentas de oferta con cantidades fijas (especialmente producción y exportaciones de café y minería).
- * Cambios en gasto publico real
- * Cambio en la inversion en petroleo
- * Cambios en oferta laboral
- * Transferencias del gobierno
- * Inversion privada fija
- * Variaciones de inventarios
- * Precios exogenos (especialmente café, combustibles, alquileres de vivienda, transporte y servicios públicos)
- * Cambios en los markups en el Sector Industrial
- * Devaluacion nominal promedio

* Salarios del segmento formal no calificado (salario minimo)

* Tasas de ahorro

Como se indicó anteriormente, el valor de algunas de estas variables es tomado de diversas fuentes (publicadas y no publicadas), en otros casos se asumen valores razonables, o en el caso de variables de política se utiliza la información de metas y cuantificación de objetivos de política. Una fuente importante de información ha sido el Departamento Nacional de Planeación, especialmente la Unidad Macroeconómica.

2. La actualización de la información del Sector Industrial

Puesto que la SAM que usualmente se maneja en Fedesarrollo no comprende sino 4 sectores industriales, la apertura a 17 sectores industriales se hizo con base en la última información disponible para el sector manufacturero que es la Encuesta Anual Manufacturera de 1991. Desafortunadamente no existe ninguna otra fuente de información más actualizada. Aún hoy, no es posible conseguir los resultados de la Encuesta Anual Manufacturera de 1992.

Esto significa que mientras que el conjunto de la SAM está actualizada a 1994, las estructuras sectoriales de las variables en el caso de la industria se construyeron con base en información para 1991. Desafortunadamente no es posible modificar esta metodología, por lo menos durante algún tiempo.

A pesar de esta limitación, en conjunto la base contable del modelo incorpora las características más importantes de la estructura de la economía colombiana entre 1992 y 1994. En particular, los más importantes cambios que han ocurrido con el proceso de apertura han sido incorporados en la SAM a través de los ejercicios de actualización, y

por esta razón se puede tener un grado razonable de confianza en los resultados del modelo.

II. IMPACTO DE LAS TASAS POR CONTAMINACION HIDRICA

La propuesta de Económica Consultores estima las tasas por contaminación hídrica con base en los costos de tratamiento unitario por contaminante para diferentes niveles de control. La optimalidad de estas tasas radicaría en que obligaría a cada industria a igualar los costos marginales de control. En este sentido, las industrias que tienen costos de control inferiores al monto de la tasa optarían por controlar sus emisiones y evitar pagar la tasa, mientras que aquellas con costos de control mayores optarían por pagar la tasa.

Con el fin de deducir el monto de las tasas correspondiente a diferentes niveles de control, Económica evalúa los costos unitarios de control para diferentes emisiones con base en una muestra de 60 empresas industriales colombianas. Con base en esta función de costos se evaluaron las tasas correspondientes a niveles de control del 30%, 60% y 90%, para cada uno de los contaminantes hídricos.

Los resultados de estos cálculos se muestran en la Tabla 1, la cual está basada en la Tabla 7 del informe de Económica.

Para analizar el impacto de la fijación de tasas por contaminación hídrica se utilizaron las tasas para cada nivel de control para Sólidos Suspendidos Totales (SST), y DBO (DQO). Como se señala en el informe de Económica, para el caso de grasas y aceites, y PH, las mediciones de emisiones son escasas por lo cual las tasas calculadas son solamente indicativas.

Tabla 1: Tasas por Contaminación Hídrica con diferentes Niveles de Control
(US\$ por kilogramo)

| CONTAMINANTES | 30% de Contro l | 60% de Contro l | 90% de Contro l |
|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Sólidos Suspendidos Totales | 0.7 | 1.25 | 6.3 |
| DBO y DQO | 4.3 | 9 | 53 |
| Grasas y Aceites | 2.5 | 25 | 250 |
| PH (Q) | 34 | 52 | 270 |

El Cuadro 2 muestra el incremento en los impuestos pagados por cada uno de los sectores industriales si se implementaran las tasas por contaminación hídrica (a las emisiones de DBO, DQO y Sólidos Suspendidos) para niveles de control del 30%, 60% y 90%.

A un nivel del 30% el mayor incremento lo tiene el sector de papel y editoriales que tendría que incrementar el pago de impuestos en 1.45%, con respecto a la situación sin impuestos por contaminación hídrica. A tasas correspondientes a un nivel de control del 60% dicho incremento en impuestos sería de 3.03% y para el 90% de 17.79%. Las otras industrias que se verían sensiblemente afectadas a este nivel de control (pagando 53

CUADRO N° 2
IMPACTO ECONÓMICO DE LA POLÍTICA AMBIENTAL
INCREMENTOS EN LOS IMPUESTOS PAGADOS (%)

TASAS POR CONTAMINACION HIDRICA

| Sector | 30% | 60% | 90% |
|------------------------|------------|------------|------------|
| Otros agropecuarios | 0.59 | 1.24 | 7.30 |
| Carnes | 0.93 | 1.94 | 11.35 |
| Bebidas | 0.10 | 0.20 | 1.15 |
| Textiles y cueros | 0.31 | 0.65 | 3.79 |
| Madera y muebles | 0.32 | 0.67 | 3.92 |
| Papel e imprentas | 1.45 | 3.03 | 17.79 |
| Químicos | 0.65 | 1.35 | 7.92 |
| Minerales no metálicos | 0.17 | 0.32 | 1.76 |
| Metal. no elaborados | 0.06 | 0.13 | 0.76 |

dólares por kilogramo de DBO y DQO, y 6.3 dólares por kilogramo de sólidos suspendidos) son la industria de procesamiento de carnes (incluye mataderos) con un aumento del 11.35% en el pago de impuestos, y la industria de químicos con un incremento de 7.92%.

Sin embargo, se debe notar que con excepción de papel e imprentas, a tasas correspondientes a un nivel de control del 30% el incremento en los impuestos pagados es inferior al 1% para todos los sectores. Aún para tasas correspondientes a un nivel de control del 60% los impuestos pagados son superiores al 1% sólo para carnes (1.94%), químicos (1.35%) y alimentos procesados (otros agropecuarios) con 1.24%.

El Cuadro 3 presenta los resultados de la fijación de tasas por contaminación hídrica sobre las principales variables macroeconómicas. Concentrándonos sobre los efectos de una tasa correspondiente al 90% de control se observa una caída del PIB de 0.04%. Si los mayores recursos recaudados son devueltos a la economía a través de un mayor gasto público ambiental, la caída del PIB será de sólo 0.017%. Este es el escenario con “inversión compensatoria”.

La imposición de las tasas genera un incremento adicional en el índice de precios al consumidor de 0.019%. El escenario con inversión pública compensatoria obviamente no contrarresta esta tendencia sino antes bien, incrementa las presiones inflacionarias en 0.025%. La magnitud del impacto inflacionario de las tasas es en todo caso mínima. Como parámetro de comparación, un incremento del 20% en el precio de la gasolina tiene un impacto inflacionario de 0.33% sin inversión pública compensatoria (lo cual supone una caída del PIB de casi 1%). Una devaluación del 20% acelera la tasa de inflación en más de 4 puntos porcentuales. En esta perspectiva, el impacto inflacionario de las tasas por contaminación hídrica, aún a un nivel de control del 90% es muy bajo.

CUADRO No 3
TASAS POR CONTAMINACIÓN HÍDRICA
RESULTADOS MACROECONÓMICOS

| | 30% Control | 60% Control | 90% Control | 90% Control Inv. Comp. |
|------------------|-------------|-------------|-------------|---------------------------|
| PIB | -0.003 | -0.007 | -0.040 | -0.017 |
| Consumo | -0.005 | -0.011 | -0.067 | -0.046 |
| Exportaciones | 0.000 | -0.002 | -0.010 | -0.014 |
| Importaciones | -0.002 | -0.005 | -0.029 | -0.005 |
| DEFPIB | 0.001 | 0.003 | 0.016 | 0.021 |
| IPC | 0.002 | 0.003 | 0.019 | 0.025 |
| Ahorro Externo* | 0.000 | -0.001 | -0.005 | -0.002 |
| Superavit fiscal | 0.001 | 0.002 | 0.013 | 0.005 |
| Ahorro privado | 0.000 | -0.001 | -0.004 | -0.003 |
| Inversión | 0.000 | 0.001 | 0.004 | 0.000 |
| Empleo urbano | -0.003 | -0.006 | -0.039 | -0.016 |

El impacto sobre crecimiento es también bajo. Como se señaló, un incremento del 20% en el precio de la gasolina disminuye el PIB en casi un punto porcentual. En contraste, en el caso de las tasas por contaminación hídrica la caída del PIB es de sólo 0.017% (con inversión compensatoria). Se debe tener en cuenta que la caída en el PIB sería aún menor puesto que una parte de las empresas preferirían controlar las emisiones en lugar de pagar las tasas. El impacto sobre sus costos sería por lo tanto menor y sería también menor la desaceleración de su actividad económica.

El Cuadro 4 muestra los resultados sectoriales de la imposición de las tasas por contaminación hídrica sobre los precios y la producción. Concentrándonos de nuevo en el escenario correspondiente a un nivel de control del 90% se observa un mayor impacto en la producción de los sectores de bebidas (con una caída de 0.21% en la producción bruta), papel e imprentas (con una disminución de 0.10%) y producción de otros alimentos agropecuarios. Los precios relativos de estos sectores son también los que presentan mayores aumentos lo cual refleja la presión sobre los costos debido a la imposición de las tasas. En el caso de bebidas los precios se incrementan 0.21%. Es importante observar que en el caso de este sector el incremento en los impuestos por el pago de tasas por contaminación hídrica no es de los más altos en relación con otros sectores, pero si es de los más afectados por dicha política. Obviamente para medir el impacto de las tasas la variable relevante no es tanto cuánto se incrementan los impuestos como cuál es el peso de dichos impuestos con respecto a la producción bruta del sector.

El cambio en los precios de los bienes industriales refleja dos tendencias opuestas: en algunos casos predomina el impacto de mayores costos como resultado de las tasas por contaminación que se reflejan en incrementos en precios, y en otros casos predomina el efecto de una desaceleración (aunque leve) en la actividad económica, con lo cual los precios disminuyen.

CUADRO No 4
IMPACTO ECONOMICO DE LA POLITICA AMBIENTAL
RESULTADOS SECTORIALES

| | Tasas por Contaminación Hídrica 30% Control | | Tasas por Contaminación Hídrica 60% Control | | Tasas por Contaminación Hídrica 90% Control | | Tasas por Contaminación Hídrica 90% Control y Pol. Comp. | |
|------------------------|---|---------|---|---------|---|---------|--|---------|
| | Prod. | Precios | Prod. | Precios | Prod. | Precios | Prod. | Precios |
| Otros alim. agropec. | -0.01 | 0.00 | -0.02 | 0.01 | -0.11 | 0.05 | -0.10 | 0.05 |
| Carnes | 0.00 | -0.01 | 0.00 | -0.01 | -0.01 | -0.06 | -0.01 | -0.04 |
| Transform de cereales | 0.00 | 0.00 | -0.01 | 0.00 | -0.05 | -0.02 | -0.03 | -0.02 |
| Lácteos | 0.00 | 0.00 | -0.01 | -0.01 | -0.05 | -0.03 | -0.03 | -0.03 |
| Azúcar | -0.01 | 0.00 | -0.01 | -0.01 | -0.07 | -0.03 | -0.05 | -0.02 |
| Bebidas | -0.02 | 0.02 | -0.04 | 0.04 | -0.24 | 0.21 | -0.21 | 0.21 |
| Tabaco | -0.01 | 0.00 | -0.02 | 0.00 | -0.09 | 0.00 | -0.06 | 0.00 |
| Téxtil y cueros | -0.01 | 0.00 | -0.01 | 0.00 | -0.08 | 0.19 | -0.07 | 0.02 |
| Madera y muebles | -0.01 | 0.01 | -0.02 | 0.02 | -0.11 | 0.10 | -0.03 | 0.11 |
| Papel e imprentas | -0.01 | 0.01 | -0.02 | 0.02 | -0.12 | 0.09 | -0.10 | 0.09 |
| Químicos | -0.01 | 0.00 | -0.01 | 0.01 | -0.08 | 0.03 | -0.06 | 0.03 |
| Minerales no metálicos | 0.00 | 0.00 | -0.01 | 0.00 | -0.05 | 0.01 | 0.01 | 0.00 |
| Metal. no elaborados | 0.00 | 0.00 | -0.01 | 0.00 | -0.04 | -0.01 | -0.02 | -0.01 |
| Maquinaria | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | -0.02 | -0.01 | 0.00 | -0.02 |
| Equipo de transporte | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | -0.01 | -0.02 | 0.00 | -0.02 |
| Otras manufacturas | 0.00 | 0.00 | -0.01 | 0.00 | -0.04 | -0.01 | -0.01 | -0.01 |

En conjunto, los resultados del modelo sugieren que el impacto de la aplicación de las tasas por contaminación hídrica tiene efectos muy leves sobre los sectores industriales, aún a niveles de control del 90%. De nuevo comparando con el efecto de incrementar los precios de la gasolina en 20%, en este caso algunos sectores sí son significativamente afectados. Por ejemplo, la producción bruta de tabaco cae 3.4%, la de bebidas disminuye 2.4%, la de papel 1.6%. Con la imposición de las tasas por contaminación hídrica el efecto sectorial más grande es la caída en la producción de bebidas de 0.21%, es decir, menos de una décima parte del impacto que se obtendría con el incremento en los precios de la gasolina.

Dados los anteriores resultados, y los efectos ambientales positivos esperados (que no son cuantificados por el modelo), estas simulaciones sugieren la conveniencia económica de implementar las tasas por contaminación hídrica. La utilización de un modelo que permitiera que los empresarios adoptaran tecnologías de control frente a la alternativa de pagar las tasas fortalecería aún más esta conclusión.

III. MODIFICACIONES EN EL PROGRAMA

En el archivo IMPCONT, el cual hace el cálculo de los impuestos por contaminación se hizo la siguiente modificación:

- * Calculo de Impuestos por Contaminacion
- * Tasas de Cobro de Impuestos (\$ por ton por año)

*** TASAS POR CONTAMINACION HIDRICA**

- * 30% de Control (Miles \$/Ton ano)

TASA("DBO")= 3.5518;

TASA("DQO")= 3.5518;

TASA("SST")= 0.5782;

* 60% de Control (Miles \$/Ton ano)

* TASA("DBO")= 7.4340;

* TASA("DQO")= 7.4340;

* TASA("SST")= 1.0325;

* 90% de Control (Miles \$/Ton ano)

* TASA("DBO")= 43.7780;

* TASA("DQO")= 43.7780;

* TASA("SST")= 5.2038;

* Fuente: Economica Consultores

Las simulaciones se hacen para el nivel de control que se desee especificar (eliminando y colocando asteriscos). Obviamente, es también posible simular el impacto de una sola tasa (por ejemplo, la de sólidos suspendidos).

Las tasas de impuestos indirectos son ajustadas de la siguiente manera:

* Ajustes de las tasas de impuestos indirectos

`IMPCONT(INDSET) = SUM(E0, COEFTAX(INDSET,E0));`

* `IMPCONT(INDSET) = COEFTAX(INDSET,"DBO");`

La primera línea (activa en este caso) ajusta la tasa de impuestos por el conjunto de tasas por contaminación hídrica (DBO, DQO y sólidos suspendidos). La segunda línea incorpora la opción de ajustar la tasa de impuestos por la tasa referida a sólo uno de los contaminantes (en este caso DBO).