

Universidad de Los Andes
Facultad de Economía
Programa de Magíster en Economía del Medio Ambiente y de los Recursos Naturales

Reformas Fiscales Ambientalmente Motivadas y “Doble Dividendo”
Análisis Aplicado de Equilibrio General para el caso de Bogotá, D.C.

Asesor:
Juan Carlos Mendieta López

Presentado por:
Juan Carlos Segura Ortiz
Código: 199717052

Diciembre 09 de 2005

1. Introducción

Introducimos una plataforma matemática, calibrada numéricamente con datos del mundo real, en la evaluación una reforma fiscal con prerrogativas ambientales, y en la indagación de las oportunidades de obtener un *doble-dividendo* de su aplicación en el caso de Bogotá, D.C., Colombia.

La política ambiental en Bogotá, D.C., tal como aparece formulada en los documentos oficiales de la Administración Distrital se preocupa principalmente de la conservación y reproducción de la llamada *Estructura Ecológica Principal* de la ciudad, objetivo que, en principio, garantizaría una oferta adecuada de agua y aire; los intereses ambientales de la Administración además, tienen que ver con la provisión del ecosistema urbano con equipamientos y otros bienes de producción pública que conforman el *espacio público*.

La creación en 1993 del Departamento Administrativo del Medio Ambiente, (DAMA) puede corresponder a esa corriente de creciente interés por los temas de protección ambiental y sostenibilidad del desarrollo humano observada a finales de los 80s y comienzos de la década de los 90s, según sugiere entre otros Uribe (2005), en su estudio sobre la evolución de las instituciones ambientales en Colombia. A diferencia del resto de las instituciones ambientales del nivel nacional, el DAMA tiene un profundo interés en los temas urbanos que aparecen, por virtud de la Ley de Ordenamiento Territorial (Ley 388 de 1997) y del Plan de Ordenamiento Territorial (POT) vigente, ligados al problema del ordenamiento físico de la ciudad.

El control de emisiones y de vertimientos por parte de la autoridad ambiental de la ciudad no va más allá de lo que permite la Ley y las remuneraciones de las que ocasionalmente hace sujeto a algunos agentes contaminadores visibles, pueden no suponer un incentivo para el abatimiento de los contaminadores urbanos; en adición, el Plan Maestro de Gestión Ambiental, —una iniciativa a desarrollar entre 2001 y 2009—, que constituye el marco de la política ambiental de la ciudad, se articula sobre siete estrategias de orientación principalmente pasiva en cuanto a que su objeto es la búsqueda de

alternativas de gestión y educación ambiental, antes que una intervención directa activa sobre las actividades que generan entropía en el ecosistema urbano.

Los economistas han tendido a favorecer los instrumentos económicos en oposición a las medidas de comando y control en relación con la preservación del ambiente. En un mundo de primer mejor las medidas de comando y control son satisfactorias porque no hay costos de transacción; la elección entre producir y contaminar es equiparable a aquella que podría lograrse con instrumentos impositivos. La vida real, que por obra de diversas fricciones institucionales y económicas es un mundo de segundo mejor, observa altos costos de seguimiento y de verificación de la observación (control policial) de estándares por lo que siempre habrá un incentivo privado para evadir los estándares; a la autoridad habitualmente deberá resultarle muy costoso constituir instituciones para el seguimiento estricto de las normas ambientales relevantes.

No obstante, en la vida real la adopción de instrumentos económicos para el control ambiental implica costos que no permiten transferencias *lump-sum*¹ entre agentes institucionales, como la conjetura pigouviana puede predecir. Hay acuerdo, en todo caso, en que los costos de estos instrumentos suelen ser menores por que las *rentas de escasez* que generan, se distribuyen entre las instituciones económicas de acuerdo con la menor elasticidad de demanda de la mercancía producida por la actividad contaminante.

En cualquiera de los dos casos, finalmente, al carecer de una guía adecuada para la valoración *ex ante* de los costos y beneficios de la política ambiental, los resultados de una iniciativa pública pueden discrepar sensiblemente respecto de los objetivos planeados y pueden dar lugar a la introducción de mayores distorsiones al sistema, haciendo del detrimento de la eficiencia y el bienestar un riesgo real.

Una reforma fiscal ambientalmente motivada se dirá que da lugar a un *doble dividendo* si, además del resultado inmediato de reducción en la contaminación, logra disminuir las distorsiones que otros impuestos pre existentes han introducido a la economía; se dice que la reforma ofrece un *triple dividendo* si, además de los primeros beneficios,

¹ o *transferencia de suma fija*: transferencias de primer mejor entre agentes.

puede observarse, como consecuencia del aligeramiento de la carga fiscal sobre los factores productivos, un aumento en su uso, esto es, una disminución en su desempleo.

El mecanismo fiscal consiste, *sencillamente*, en financiar recortes en los impuestos distorsionarios pre-existentes con los recaudos fiscales provenientes del impuesto ambiental.

Con auxilio de una estructura computable de equilibrio general económico, se indagaron los resultados de una reforma fiscal con motivación ambiental para el caso de Bogotá D.C. El instrumento de análisis, un modelo de equilibrio económico, da cuenta de las interacciones que los análisis de equilibrio parcial omiten. La calibración del modelo con datos reales de la economía de la ciudad hace posible, vía cambios en su estructura paramétrica, simular iniciativas *reales* de política que indicarán los costos y beneficios relativos de un determinado cuerpo de política ambiental, así como la posibilidad efectiva del *doble dividendo*.

2. El Doble Dividendo

Comenzando con Sandmo (1975), la literatura teórica sobre la interacción entre nuevos instrumentos fiscales y distorsiones pre-existentes en una economía ha enfatizado en la necesidad de probar nuevos instrumentos analíticos que arrojen luz sobre un debate que no pierde vigor con el tiempo. Con la aparición de los primeros trabajos de Bovenberg y van der Ploeg (1994), y Bovenberg y de Moij (1994), las indagaciones tradicionales sobre impuestos ambientales y otras regulaciones relacionadas han sido de tipo parcial principalmente. Consecuencia de ese modo de análisis es la omisión de información sobre las vías a través de las cuales la política ambiental ejerce influencia sobre el resto de la economía. En efecto, los análisis de equilibrio parcial no pueden *per se* tener en cuenta el impacto fiscal de la política ambiental; además los resultados bajo esta modalidad analítica solo pueden hacer referencia a un pequeño grupo de mercados directamente asociados, ignorando completamente el resto de relaciones con las otras componentes del sistema económico.

Bovenberg y Goulder (1996) presentan un análisis precursor en al menos dos aspectos: (i) resaltan el valor metodológico del análisis de equilibrio general, y (ii) contrastan sus resultados analíticos con los resultados de modelos numéricos, calibrados sobre datos de economías reales. Aquí el concepto de equilibrio general se elabora sobre aquellas nociones sobre las que Mas-Collel et. alii (1995) llaman la atención: se trata no únicamente de una teoría del valor, sino de una aproximación metodológica que implica entender la economía como un sistema cerrado y completo en el que la modificación de los *fundamentales* de la estructura social implica re-computar de nuevo todo el modelo a fin de hallar el vector completo de precios y cantidades bajo los cuales a los que los mercados se vacían. En cuanto al problema que nos atañe en este artículo, los resultados de esos autores sugieren que el doble dividendo es una posibilidad excepcional antes que típica, y que ese resultado depende crucialmente de la interacción de los impuestos ambientales con las distorsiones pre-existentes. Sobre la misma línea, Fullerton y Metcalf (1997), discuten la posibilidad del doble-dividendo bajo la óptica de las llamadas *rentas de escasez*, esto es, sobre los ingresos adicionales que se siguen luego de un shock que corta abruptamente la oferta de una mercancía en presencia de una demanda de mercado de pendiente negativa. Según Fullerton y Metcalf, la exacerbación de las distorsiones subsiguiente a una reducción de impuestos distorsionarios financiada con recursos provenientes de impuestos ambientales, es consecuencia de la aparición de dichas rentas que, en otras circunstancias, hacen viable la implementación de derechos negociables.

Antagonistas en el debate son Parry y Bento (2001), pero especialmente Parry (1998), quienes hacen disección de los diagnósticos de Bovenberg y Goulder (1996) y proponen que los resultados de aquellos autores están especialmente influenciados por los supuestos más bien generales del modelo analítico utilizado en aquellas investigaciones. Específicamente, Parry acusa una excesiva simplificación en el modelamiento de Bovenberg y Goulder. Por ejemplo, la supuesta complementariedad entre el ocio y la contaminación y el hecho de que el trabajo sea el único factor productivo en la economía, alejan de la realidad objetiva al modelo citado: *En estas condiciones, el reemplazo del impuesto ambiental exagera los costos sobre el bienestar del impuesto al trabajo pre-*

existente. En consecuencia no hay doble dividendo y los costos de equilibrio general exceden los costos de equilibrio parcial (Parry, 1998). El argumento es el grado de sustituibilidad entre el input ambiental y el consumo corriente; a mayor sustituibilidad, el grado de separabilidad en la función de utilidad es mayor y la complementariedad se hace más débil; en contraste, un menor grado de sustituibilidad implica mayor complementariedad entre consumo corriente y consumo ambiental; en este caso los costos de sustitución suelen ser mayores imprimiendo presión adicional sobre los costos económicos de la política ambiental.

Desde sus inicios, la literatura sobre el doble dividendo se ha venido dividiendo paulatinamente en investigaciones de carácter teórico formal sustentado en ocasiones en estimaciones empíricas y en investigaciones de carácter puramente práctico que evalúan los resultados de los trabajos teóricos a la luz de estructuras computables complejas, construidas sobre matrices de contabilidad económica de grandes dimensiones y mayor detalle descriptivo. Esta aproximación, que justamente es la base metodológica sobre la que se desarrolla este artículo, no está exenta de crítica, toda vez que adolece del denominado *síndrome de la caja negra*. En efecto, el modelamiento aplicado de equilibrio general, supone la construcción de modelos matemáticos complejos y detallados cuyos aspectos suelen escapar al lector. En Colombia, este es quizás el primer trabajo sobre estas líneas; podemos estar seguros de que se trata del primero a nivel urbano o regional.

3. Modelo

Al modelo básico de equilibrio económico para Bogotá construido por Segura (2005^a) para el Departamento Administrativo de Planeación Distrital se adiciona una extensión que considera impuestos ambientales contingentes sobre la actividad j . El modelo incluye 42 actividades económicas según se describe en la Matriz de Insumo-Producto de Bogotá de la Secretaría de Hacienda Distrital. El modelo es del tipo de Shoven y Whalley (1992, 1982) y representa la situación de equilibrio que se lee directamente de la base de datos. Se hace descripción del modelo básico, haciendo énfasis en sus características más prominentes,

esto es, la relación con el sector externo, el gasto público, la inversión y la curva de salarios que modela la situación de desempleo observada en la ciudad en el año de la información, 2001.

3.1. Relaciones Básicas

La economía modelo describe una economía abierta y pequeña en los mercados internacionales, e incluye un gobierno que leva impuestos, produce algunas mercancías y demanda bienes finales; hay además un banco de inversión que vincula oferentes de ahorro y demandantes de fondos prestables. Hay una parte de la fuerza laboral permanece desempleada. El modelo comprende un conjunto de ecuaciones de comportamiento definidas a partir de las condiciones de primer orden de los problemas relevantes de optimización de cada uno de los tipos de agentes descritos por el modelo, así como una colección de cierres y de condiciones de equilibrio a observar. La estructura del modelo es paralela a la de otros modelos computables de equilibrio general desde Dervis, Robinson y De Melo (1981), Shoen y Whalley (1984, 1992), Löfgren, Harris y Robinson (2002), o incluso, entre otros, Bayar (2005).

La elección de los individuos está descrita por las proposiciones teóricas acostumbradas: los agentes optimizan funciones objetivo *bien comportadas* sobre sus conjuntos de elección que se suponen no vacíos, convexos y compactos. Por tratarse de un modelo de índole sectorial, las industrias presentan rendimientos constantes a escala. Las asignaciones de recursos satisfacen la *Ley de Walras* en cuanto a que hay una fuente para cada uso. Como los precios relativos son el centro de interés y las demandas dependen de estos precios, la estructura resultante es homogénea y un cambio de escala en el precio de la mercancía de referencia, en este caso el capital, cambia los demás precios en la misma escala, dejando las cantidades como estaban antes de la transformación de los precios.

Se consideran $j = 1, \dots, n$ industrias, cada una de ellas responsable de la producción de una categoría particular de mercancías: hay una relación uno a uno entre sectores y bienes. Un consumidor representativo demanda bienes para su uso final derivando utilidad

de su consumo durante su tiempo libre dadas unas preferencias continuas, convexas y no saciables, coherentes con el axioma débil de la preferencia revelada desde el punto de vista contable. El ingreso del consumidor está conformado por los salarios que percibe por la venta de su fuerza de trabajo y por el alquiler de sus activos fijos a las industrias; el ingreso incluye además las transferencias que las administraciones públicas le conceden. Los ingresos por concepto de impuestos directos como el impuesto a la renta y al uso de los factores productivos y por impuestos indirectos como el impuesto al consumo y las tarifas a las importaciones, conforman el ingreso del gobierno que es utilizado en la producción de los servicios que éste provee, en la financiación de su consumo final y en el pago de transferencias a los consumidores finales. Hay, finalmente, un banco de inversión que conecta los fondos prestables del consumidor representativo con las demandas de inversión de las firmas.

Las firmas producen mercancías sobre una estructura anidada: Los consumos intermedios y el valor agregado se combinan mediante una tecnología del tipo de Leontief en el primer nivel de la estructura planteada; en el segundo nivel, el valor agregado es resultado de combinar mediante una tecnología de elasticidad constante de sustitución (CES) los inputs primarios, y los consumos intermedios se representan mediante una agregación de coeficientes fijos. Los factores productivos pueden moverse entre sectores de acuerdo con la regla del mayor retorno y, dados cambios en su nivel, observan los comportamientos que predicen los teoremas de Rybczinsky y de Stolper-Samuelson², si bien constituyen mercancías no transables al menos en el corto plazo.

La economía modelo es abierta y pequeña en los mercados internacionales; las mercancías pueden ser tratadas como transables o no transables dependiendo de si son o no sujeto de comercio con el resto del mundo. Con esta distinción los bienes se distinguen tanto por su destino (se venden en el mercado doméstico o se exportan) como por su origen (se producen domésticamente o se importan). Los transables pueden ser apreciados en diferentes patrones monetarios que permiten distinguir sus precios FOB de sus precios de

² Ver, Silberberg, E. and W. Sue (2000).

adquisición en los mercados finales, CIF. El tipo de cambio permite efectuar la equivalencia entre los precios internos y los precios externos. La producción doméstica de la j -ésima mercancía xd_j se ofrece tanto en el mercado interno ($xdds_j$) como en el exterior (e_j); la oferta doméstica se conforma tanto de bienes importados, (m_j) como de bienes producidos domésticamente, ofrecidos en el mercado interno, ($xddd_j$) La distribución de la producción doméstica se modela con una función de Elasticidad Constante de Transformación, CET.

Adoptamos, como es la costumbre en este tipo de trabajos, el supuesto de Armington (1969) al definir un bien compuesto de producción doméstica e importaciones que representa la absorción interna de la j -ésima mercancía, x_j . La mercancía compuesta es utilizada ya sea como insumo en los procesos domésticos de producción o es vendido para satisfacer demandas finales como las de los hogares, el gobierno y la inversión. La figura 1 ilustra esta hipótesis sobre la estructura productiva³.

Oferta.— La firma representativa elige vender su producción en el mercado doméstico o en el mercado externo maximizando el ingreso que le reportan sus ventas domésticas y sus ventas al extranjero, sujeta a una función de transformación que en este caso se asume de elasticidad constante de transformación:

$$\begin{aligned} \max_{xdds_j, e_j} \quad & pdd_j \cdot xdds_j + pe_j \cdot e_j \\ \text{s.a.} \quad & xd_j = \left[\gamma_j^{TE} \cdot e_j^{\rho_j^{Tj}} + \gamma_j^{TD} \cdot xdds_j^{\rho_j^{Tj}} \right]^{-1/\rho_j^T}, \quad \sigma_j^T = 1/(1 + \rho_j^{Tj}) \end{aligned} \quad (1)$$

Mediando la elasticidad de sustitución, σ_j^T y dados los parámetros de distribución $\gamma_j^{TE}, \gamma_j^{TD}$, el proceso de optimización da como resultado que la producción doméstica del j -

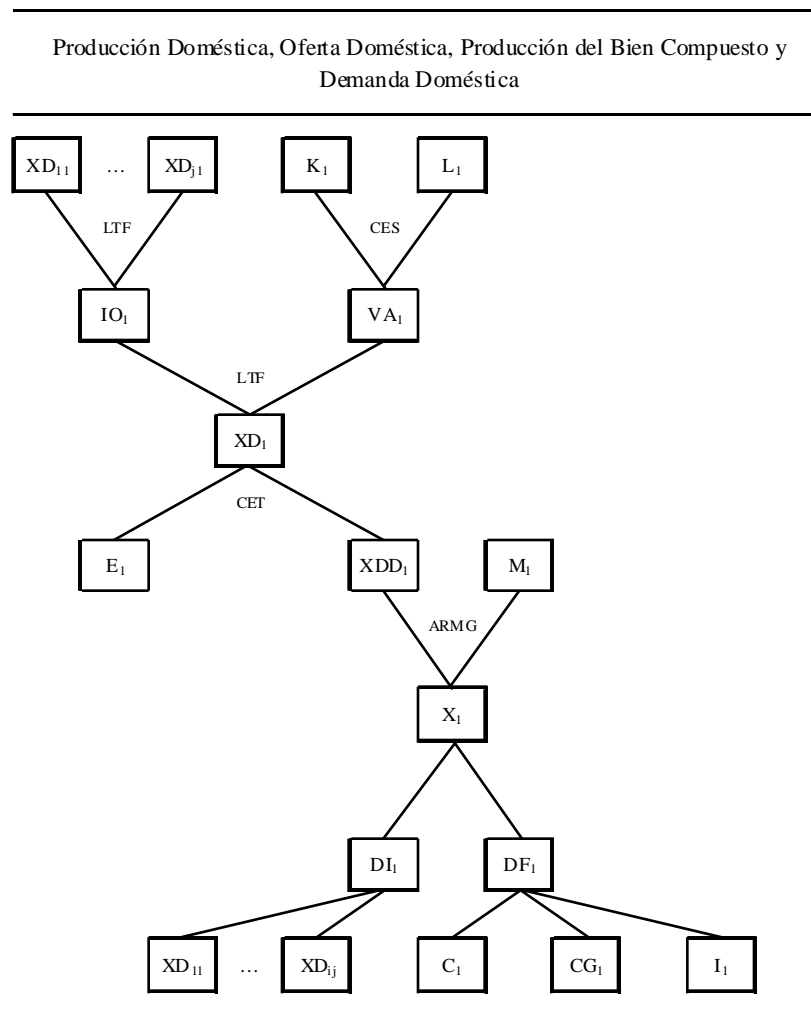
³ Los acrónimos LTF, CES, CET y ARGM significan “Leontief”, “Constant Elasticity of Substitution”, “Constant Elasticity of Transformation”, y “Armington”, respectivamente.

ésimo sector productivo, xd_j se ofrece en el mercado doméstico, $xdds_j$ y/o se exporta, e_j de acuerdo con las siguientes elecciones óptimas⁴:

$$xdds_j = (\gamma_j^{TD})^{\sigma_j^T} \cdot (pd_j / pdd_j)^{\sigma_j^T} \cdot xd_j \quad (2)$$

$$e_j = (\gamma_j^{TE})^{\sigma_j^T} \cdot (pd_j / pe_j) \cdot xd_j \quad (3)$$

Figura 1



⁴ Ver Silberberg, E. and W. Suen Op. Cit.

Para el j -ésimo productor doméstico, las condiciones de beneficio cero, esto es, la definición de precios para la producción doméstica es:

$$pd_j \cdot xd_j = pe_j \cdot e_j + pdd_j \cdot xdds_j \quad (4)$$

La Conjetura de Armington.— La j -ésima firma produce una mercancía compuesta utilizando la mercancía doméstica disponible en el mercado interno y las importaciones de ese tipo de bien. La firma minimiza sus costos totales, sujeta a una tecnología de la clase CES:

$$\begin{aligned} \min_{m_j, xddd_j} \quad & pm \cdot m_j + pdd_j \cdot xddd_j \\ \text{s.a.} \quad & x_j = \left[\gamma_j^{AM} \cdot m_j^{-\rho_j^A} + \gamma_j^{AD} \cdot xddd_j^{-\rho_j^A} \right]^{-1/\rho_j^A} \end{aligned} \quad (5)$$

Donde $\gamma_j^{AM}, \gamma_j^{AD}$ son los parámetros de distribución y ρ_j^A es el parámetro de sustitución que se relaciona con la elasticidad de Armington mediante $\sigma_j^A = 1/(1 + \rho_j^A)$. Las demandas óptimas por importaciones m_j y mercancías de la clase j producidas domésticamente, $xddd_j$, dependerán de una relación de precios que compara el precio de oferta de la j -ésima mercancía con su precio doméstico, así como del nivel de oferta de dicha mercancía, esto es,

$$m_j = (\gamma_j^{AM})^{\sigma_j^A} \cdot (p_j / pm_j)^{\sigma_j^A} \cdot x_j \quad (6)$$

$$xddd_j = (\gamma_j^{AD})^{\sigma_j^A} \cdot (p_j / pdd_j)^{\sigma_j^A} \cdot x_j \quad (7)$$

El ingreso de la *firma Armington*, tomando en cuenta la condición de beneficio cero es:

$$p_j \cdot x_j = pm_j \cdot m_j + pdd_j \cdot xddd_j \quad (8)$$

Los Precios y La Balanza Comercial.— Al adoptar el supuesto de país pequeño los precios internacionales de las exportaciones pwe_j y de las importaciones pwm_j son fijos y están dados. Si er representa el tipo de cambio, el precio doméstico de la j -ésima mercancía exportada es:

$$pe_j = er \cdot \overline{pwe_j} \quad (9)$$

En tanto que el precio doméstico de la j -ésima mercancía importada está dado por:

$$pm_j = (1 + \tau_j^m) \cdot er \cdot \overline{pwm}_j \quad (10)$$

El instrumento τ_j^m representa las tarifas y aranceles impuestos sobre la j -ésima importación.

La balanza de pagos está definida, en términos de la divisa como sigue:

$$\sum_j \overline{pwm}_j \cdot m_j = \sum_j \overline{pwe}_j \cdot e_j + sf \quad (11)$$

en donde el símbolo sf se refiere al ahorro externo. El precio pdd se determina en el mercado de bienes domésticos. Allí, la oferta doméstica de bienes producidos en el interior de la economía $xdds$, es igual a la demanda por bienes producidos domésticamente, $xddd$.

Consumidores.— El problema del consumidor representativo (PMU-CR) consiste en maximizar una función de utilidad continua, monótona, estrictamente cuasi-cóncava y no saciable que describe sus preferencias, sobre su conjunto presupuestal. Adquiere mercancías con los recursos que provienen de la venta de sus dotaciones, —capital y trabajo y de las transferencias del gobierno; como contribuyente es responsable de los gastos de producción y de mantenimiento del gobierno y es por tanto sujeto de aportes por concepto de consumo de mercancías, y de su ingreso recayendo sobre él tanto impuestos directos, como indirectos. El problema de este agente admite la siguiente representación:

$$PMU - CR := \left\{ \max_{c_j^H} u^H(c_j^H) \text{ s.a. } \sum_j (1 + \tau_j^c) p_i c_j^H \leq p_k ks + p_l (ls - unemp) + trf \right\} \quad (12)$$

El lado izquierdo de la restricción del problema es el ingreso total del consumidor. El agente representativo ahorra una fracción mps de su ingreso disponible. El ahorro nominal es:

$$sav^H = mps \cdot (1 - \tau^y) \cdot y \quad (13)$$

El instrumento τ^y es la tasa de impuesto a la renta. El gasto en mercancías se financia con el ingreso neto de impuestos, teniendo en cuenta el ahorro:

$$cbud^H = \sum_j (1 + \tau_j^c) \cdot p_j \cdot c_j^H \quad (14)$$

Si el consumidor maximiza una función de utilidad linealmente homogénea tipo, de la clase Cobb-Douglas,

$$u^H (c_j^H)^{\alpha_j^H}, \quad \sum_j \alpha_j^H \leq 1 \quad (15)$$

La solución de *PMU-CR* dice que el gasto nominal del agente representativo en la *j*-ésima mercancía es una proporción fija de su capacidad de pago.

$$(1 + \tau^c) p_j \cdot c_j^H = \alpha_j^H \cdot cbud^H \quad (16)$$

El Gobierno.— El gobierno financia su actividad con impuestos sobre el consumo de mercancías consideradas, sobre los usos de capital y de trabajo, sobre el ingreso del agente representativo y eventualmente, sobre las emisiones de la firma *j*. Los ingresos corrientes del gobierno, en ausencia de instrumentos económicos para el control ambiental, están dados por:

$$taxr = \sum_j \tau_j^c \cdot p_j \cdot c_j + \sum_j \tau_j^k \cdot p_k \cdot k_j + \sum_j \tau_j^l \cdot p_l \cdot l_j + \sum_j \tau_j^m \cdot er \cdot \overline{pwm}_j \cdot m_j + \tau^y \cdot y \quad (17)$$

El gobierno transfiere a la parte no empleada de la fuerza de trabajo, recursos equivalentes al salario que podrían devengar de estar ocupados a la tasa de reemplazo vigente *trep*; transfiere además otros recursos monetarios por concepto de salud y pensiones, entre otros. Estas otras transferencias se hacen nominales vía aplicación de un índice de precios al consumidor, *ipc* cuya construcción corresponde al índice de Laspeyres:

$$ipc = \frac{\sum_j (1 + \tau_j^c) \cdot p_j^C \cdot c_j^{H,B}}{\sum_j (1 + \tau_j^c) \cdot p_j^B \cdot c_j^{H,B}} \quad (18)$$

Los superíndices *B* y *C* representan las situaciones observada, —antes de un cambio de régimen—, y luego del shock. Las transferencias del gobierno serán:

$$trf = trep \cdot (p_l \cdot unemp) + ipc \cdot tro \quad (19)$$

El gasto del gobierno viene dado por:

$$p_j \cdot c_j^{gov} = \alpha_j^{gov} \cdot (taxr - trf - ipc \cdot sg) \quad (20)$$

Así el gasto nominal del gobierno en la mercancía j es una proporción α_j^{gov} fija del ingreso disponible de este agente, esto es, de los ingresos fiscales, netos de transferencias y descontado el ahorro nominal.

Inversión.— Aún cuando el modelo es estático, es posible establecer un vínculo entre el ahorro total de la economía y las necesidades de inversión del j -ésimo sector productivo. Esta situación se modela suponiendo la existencia de un agente institucional que en las cuentas económicas aparece bajo el rótulo de *instituciones financieras*; este agente maximiza una función de *cuasi-utilidad* de la familia Cobb-Douglas sobre un conjunto de elección compacto dado por los valores contenidos en el fondo de recursos prestables de las demás instituciones en la economía modelo. Formalmente, el problema de maximización de esta institución es:

$$\max_{inv_j} u^{inv} = \prod_j inv_j^{\alpha_j^{inv}} \quad s.a. \quad \sum_j p_j \cdot inv_j = s \quad (21)$$

Donde inv_j puede entenderse como la demanda de inversión de la industria j y α_j^{inv} es el exponente correspondiente a la j -ésima demanda. El símbolo s representa el ahorro agregado, que reúne el ahorro privado y el ahorro público:

$$s = sav^H + (s^{gov} \cdot ipc) \quad (22)$$

Desempleo en el Mercado de Trabajo.— En contraste con los modelos teóricos, que incluyen en forma explícita el ocio en la función de utilidad del consumidor representativo, en los modelos aplicados, endogeneizar el desempleo supone establecer uso de una relación entre la tasa de cambio en la tasa bruta de salario y la tasa de cambio en el nivel de

desempleo⁵. Si $t=B$ representa la situación base y $t=C$ representa la situación contrafactual, la tasa real de salario estará dada por $\tilde{p}'_t = p'_t / ipc^t$. De manera análoga, la tasa de desempleo estará dada por $td^t = desempleo^t / ls^t$. La relación entre los cambios de precios y la tasa de cambio del desempleo es entonces una Curva de Phillips⁶:

$$\ln(\tilde{p}'_t / \tilde{p}'_t^B) = -\varphi \ln(td^C / td^B) \quad (23)$$

Siendo φ una medida del trade-off entre empleo e inflación que en el caso de Bogotá ha sido estimada⁷ en 11.5 para el período 1994-2000.

3.2. Extensión Ambiental del Modelo Base

Se supondrá que la intensidad de la polución generada en el j -ésimo sector es proporcional a la producción. Sobre las líneas de Cardenete y Velázquez (2005) entre otros, si η_j es la cantidad de polución por unidad producida y $emiss_j$ nota el nivel de las emisiones contaminantes de la j -ésima industria, la relación entre producción y contaminación⁸ será en el caso presente, $emiss_j = \eta_j \cdot x_j$, donde x_j corresponde a la oferta en el mercado doméstico de la mercancía j . Si la Administración decide gravar con t unidades monetarias cada tonelada de contaminación emitida por la industria j , este sector deberá pagar al gobierno por concepto de daño ambiental la cantidad:

$$tr_j^{eco} = t \cdot emiss_j \quad (24)$$

En general, las cargas tributarias no son iguales en todos los sectores porque la intensidad de la polución puede variar entre industrias. El índice j llama la atención sobre las posibles diferencias en la carga fiscal vistas diferencias en las intensidades de emisión. Reuniendo las dos definiciones el recaudo ambiental es:

$$tr_j^{eco} = t \cdot \eta_j \cdot x_j \quad (25)$$

⁵ Cf. Cardenete y Velázquez (2005) y O'Ryan *et. alli.* (2003).

⁶ Ver por ejemplo, Romer (2001).

⁷ DAPD (2001).

⁸ Cf. Cardenete, M., y E. Velázquez (2005)

Siendo $\beta = t \cdot n_j$ la tasa de impuesto ambiental que recae sobre la industria j .

Los resultados económicos esperados de esta contribución implican una discrepancia entre el precio del productor y el precio del consumidor final; es así que en el equilibrio contrafactual el precio de consumo deberá ser mayor y la cantidad de producción menor que en el caso sin impuestos ambientales. El impuesto ha de crear un incentivo negativo sobre la producción y en consecuencia, sobre la contaminación, a la cual deben resultar especialmente sensibles los sectores productivos más contaminantes. Dadas estas consideraciones, la ecuación de ingresos fiscales del gobierno, bajo impuestos ambientales queda:

$$taxr = (\tau^y \cdot y) + \sum_j \tau_j^c \cdot p_j \cdot c_j + \tau_j^k \cdot p_k \cdot k_j + \tau_j^l \cdot p_l \cdot l_j + \tau_j^m \cdot er \cdot \overline{pwm}_j \cdot m_j + \beta \cdot xd_j \quad (26)$$

En tanto que la ecuación de ingresos de la j -ésima firma quedaría, siendo τ_j^{eco} es un instrumento económico para el control ambiental.

$$(1 + \tau_j^{eco}) p_j \cdot xd_j = pm_j \cdot m_j + pdd_j \cdot xddd_j \quad (27)$$

3.3. Cierres

El modelo numérico que implementa esta propuesta analítica contiene 731 variables y 726 ecuaciones. El cierre del modelo implica escoger $731 - 726 = 5$ variables exógenas para conformar un sistema cuadrado y homogéneo. Por tratarse un sistema en el que las demandas dependen de todos los precios, el sistema presenta una deficiencia de rango que puede hacer difícil la búsqueda de una solución; dado que en este caso, si $n-1$ mercados están en equilibrio, el n -ésimo también lo estará, se omite una de las ecuaciones del sistema y se estandarizan los precios respecto del precio de una mercancía patrón; los precios aparecen como dimensiones relativas al precio de esta mercancía. En nuestra propuesta el numerario es el capital porque se quiere estudiar el resultado de la política sobre el empleo. Con 42 ramas productivas y cuatro agentes institucionales, el sistema quedaría conformado por un esquema rectangular de 730 ecuaciones por 725 variables, quedando por definir 5

variables exógenas entre las que se cuenta la oferta total de trabajo. Las cuatro variables exógenas restantes se eligen teniendo en cuenta que se quiere que el presupuesto del gobierno esté en equilibrio; así el ahorro público debe permanecer sin cambio, al igual que las *otras* transferencias no motivadas por el subsidio o seguro de desempleo. El ahorro externo debe ajustarse a esta circunstancia por razones análogas.

En resumen, el cierre del modelo fija las ofertas de trabajo y capital, el ahorro del gobierno, el ahorro externo y las transferencias por concepto de seguridad social y de salud. De cualquier manera, el modelo es suficientemente flexible como para que el cierre pueda ser modificado según las necesidades del analista que gustaría, por ejemplo, estudiar la posibilidad de fijar el nivel de exportaciones para conocer como variaría el valor del ahorro total de la economía. El Anexo 5 presenta el inventario de ecuaciones y variables del modelo.

3.4. Información

Las dimensiones del modelo corresponden a las categorías contables de la Matriz de Insumo-Producto de Bogotá para 2001, construida por la Secretaría de Hacienda del Distrito Capital (SHD, 2003). La matriz original incluye flujos interindustriales de 50 ramas de actividad económica; se adelantó algún trabajo de agregación sobre la producción del gobierno que originalmente contenía servicios de enseñanza y de salud de no mercado que presentaban demandas intermedias cero y no incorporaban información sustancial sobre la distribución ínter industrial del ingreso.

La base actual de información, (*ver* Anexo 1) sobre la cual el modelo es calibrado incluye 42 sectores luego de la agregación mencionada. Las elasticidades de sustitución, así como las de transformación y de Armington son las compiladas por Sergio Prada para el Departamento Administrativo de Planeación Distrital (DAPD, 2004). Los parámetros libres se calibran según se ilustra en el Anexo 2.

La información sobre contaminación es resultado de un trabajo de compatibilización obligado por la virtual ausencia de datos a este respecto a nivel de rama de actividad. En efecto, aún cuando el DANE adelanta desde hace algunos años una importante labor de

compilación de estadísticas sobre usos ambientales que incluye algunos datos sobre vertimientos y emisiones al aire por sector industrial y por área metropolitana, la información se reduce a unas pocas ramas de producción, relacionadas exclusivamente con la industria manufacturera. La dificultad es que los sectores detectados corresponden a un subgrupo de las industrias manufactureras y los efluentes contabilizados no incluyen otros Gases de Invernadero de la clase CO₂ que son los que, más plausiblemente caracterizan el principal tema ambiental de Bogotá, D.C.

La fuente de información alternativa es el IDEAM. En 2000 esta institución publica el estudio *El Medio Ambiente en Colombia* que incluye un capítulo sobre emisiones (*Emisiones al Medio Ambiente en Colombia*) que no solo incorpora información sobre emisiones de SO₂ y NO₂, sino que adelanta una clasificación por grandes grupos productivos y de consumo. Sin embargo, la información se refiere al año 1990, lo cual obligó a estimar bajo un escenario *Business as Usual* (BaU) los posibles niveles de emisiones por sector productivo al 2001, que es la fecha de los flujos de la matriz de contabilidad económica empleada. Existe gran incertidumbre acerca de la evolución de las emisiones urbanas pero hemos considerado la evolución de la contaminación del aire proporcional a la evolución del crecimiento del producto, que se estimó, a nivel de industria con base en el cuadro *Valor Agregado por Ramas de Actividad Económica* del DANE (2003) para, al final, distribuir los niveles globales de emisiones con base en la participación de la producción por rama de Bogotá en la producción por rama de la Nación, según se puede observar en las Tablas 1 y 2.

Aún cuando las emisiones de CO₂ son de interés global antes que local, el modelo se concentra en simular una iniciativa de política orientada a la reducción de este tipo de contaminantes que, como aparece en las tablas indicadas, constituyen las emisiones más importantes al aire; el modelo sin embargo puede ser extendido, dependiendo de la disponibilidad de información, a otros temas ambientales incluidos partículas suspendidas, vertimientos, cambios en el uso de suelo y disminución de los acervos ambientales inter alia; esta afirmación es en si misma una conminación a mejorar los sistemas de información ambiental, si bien, de nuevo, reconocemos los ingentes esfuerzos del DANE en este

particular. De la Tabla 2 se puede obtener una idea del tamaño de la intervención que supone el impuesto ambiental propuesto sobre los sectores más contaminadores: Energía e Industrias de Transformación, Industria Manufacturera y Transportes (fuentes móviles).

Tabla 1

Emisión de Gases de Efecto Invernadero en Colombia, 2001

	Gigagramos					
	NO _x	CO	COVDM	CH ₄	N ₂ O	CO ₂
Energía e Industrias de Transformación	57.2	5.4	1.4	0.3	0.1	19,326.0
Industria Manufacturera	34.5	11.2	1.7	1.0	0.1	11,283.6
Comercial e Institucional	2.0	0.4	0.2	0.2	-	1,405.4
Residencial	5.0	14.4	1.5	2.4	-	3,994.5
Agricultura, Silvicultura, Pesca	1.4	0.2	0.1	0.1	-	1,013.1
Móviles	115.6	1,619.3	272.4	7.0	0.3	19,086.2
Construcción	0.7	-	-	-	-	262.7
Otros	-	-	-	-	-	1,660.9
Total Emisiones	216.3	1,650.8	277.3	11.0	0.5	58,032.6

Fuente: Cálculos propios con base en emisiones IDEAM y Cuentas Regionales, DANE.

Tabla 2

Emisión de Gases de Efecto Invernadero en Bogotá, D.C., 2001

	Gigagramos					
	NO _x	CO	COVDM	CH ₄	N ₂ O	CO ₂
Energía e Industrias de Transformación	4.8	0.5	0.1	0.0	0.0	1,625.9
Industria Manufacturera	8.6	2.8	0.4	0.2	0.0	2,812.4
Comercial e Institucional	0.4	0.1	0.0	0.0	-	304.4
Residencial	0.8	2.4	0.3	0.4	-	665.8
Agricultura, Silvicultura, Pesca	0.0	0.0	0.0	0.0	-	0.7
Móviles	24.9	348.4	58.6	1.5	0.1	4,107.1
Construcción	0.2	-	-	-	-	56.2
Otros	-	-	-	-	-	591.5
Total Emisiones	39.7	354.2	59.5	2.2	0.1	10,163.9

Fuente: Cálculos propios con base en emisiones IDEAM y Cuentas Regionales, DANE.

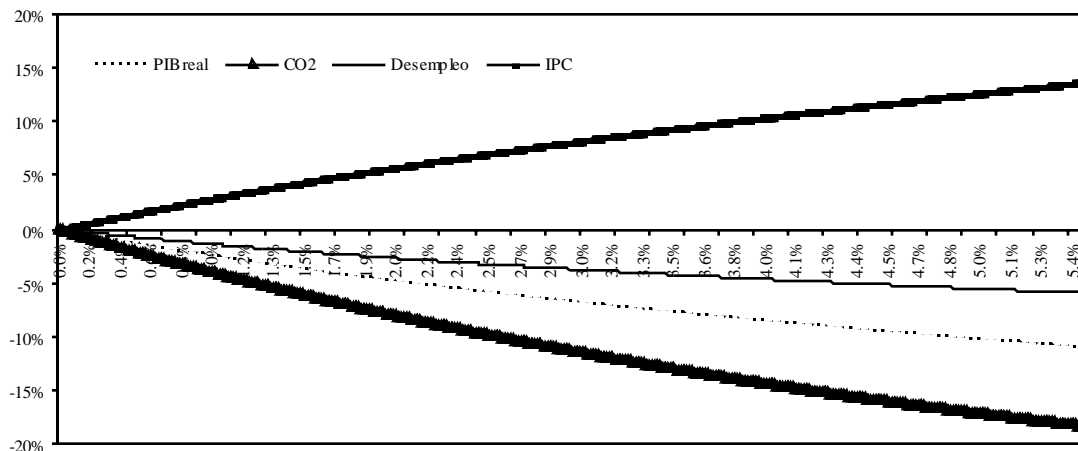
5. Ejercicios Contrafactuales y Resultados

Se quiere evaluar la posibilidad de encontrar un doble dividendo al implementar una reforma fiscal ambientalmente motivada; en contraste con otros trabajos sobre este mismo tema, —que tasan el consumo de energía, o que financian en forma proporcional a los recaudos ambientales, recortes en los instrumentos fiscales pre-existentes a reciclar—,

nuestra propuesta consiste en simular resultados contrafactuales sobre un rango de variaciones crecientes de impuesto ambiental que se observan simultáneamente con disminuciones en las tasas de contribución pre-existentes como los impuestos a la nómina y el impuesto a la renta. La metodología aquí no supone fijar en forma *ad-hoc* tasas de contribución sobre los impuestos distorsionarios pre-existentes que sean compatibles con las tasas de contribución ambiental buscando equilibrio fiscal.

Las simulaciones consisten en experimentar con cambios pareados en las tasas de impuesto ambiental (crecientes) y en las tasas de impuestos pre-existentes, según tipo de tributo. Efectuamos dos tipos de simulaciones que tienen que ver con el destino de los nuevos ingresos tributarios obtenidos de la reforma fiscal ambiental. El primer conjunto de simulaciones financia reducciones en los impuestos a la nómina del *j-ésimo* sector productivo con los recaudos ambientales; en el segundo, los recursos ambientales son invertidos en la reducción del impuesto a la renta. La Figura 2 resume los resultados agregados más relevantes del primer grupo de simulaciones, esto es, aquellas que recortan los impuestos sobre el uso del factor trabajo.

Figura 2
 Política Ambiental Reductora de Impuestos a la Nómina
 Efectos sobre las Emisiones, la Producción, de Desempleo y los Precios



Para una tasa de impuesto ambiental equivalente al 5.5% del valor bruto de la producción (VBP), las simulaciones muestran un aumento del empleo agregado de cerca del 6%, en presencia de una disminución de la producción de aproximadamente el 11%. El nivel general de precios aumentaría, bajo esta modalidad de política, en casi el 14%, cumpliendo así con las consideraciones teóricas del modelo estructural presentado en el acápite 3: un aumento en los costos de la producción debe conducir a una reducción de la producción y de las emisiones. La ganancia en empleo por cuenta de la reducción de impuestos a la nómina, que disminuye el precio de los salarios, implica la reducción del desempleo experimentada.

Los resultados agregados, sin embargo, deben ser analizados a la luz de los resultados a nivel sectorial; en efecto, la reacomodación de las actividades y de recursos, debe corresponder a la manera como ganadores y perdedores resultantes de la aplicación de la política se adaptan a las nuevas condiciones impuestas por la reforma fiscal hipotética que proponemos. La Figura 3 permite detectar estas industrias ganadoras y perdedoras, y el nivel de aumento (disminución) en su producción doméstica, como consecuencia de la política.

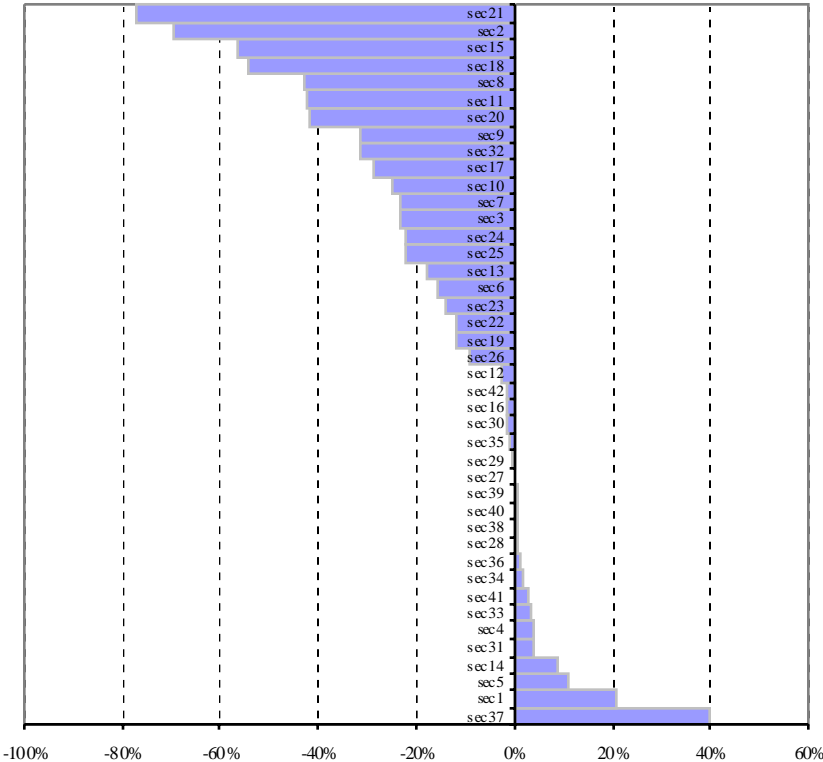
Hay cuatro circunstancias que explican las diferencias en el ajuste en la producción sectorial, como respuesta a los choques propuestos: (i) las intensidades de la emisión por rama de actividad no son iguales; (ii) las intensidades de usos intermedios de mercancías producidas por sectores intensivos en contaminación varía, (iii) las intensidades de uso del factor trabajo difieren entre industrias, y (iv) las elasticidades de sustitución, que describen la facilidad relativa con la que en un sector se reemplaza el factor primario más costoso por el de menor costo, no son iguales entre industrias.

Los ganadores con la política, en términos del aumento de la producción, son industrias intensivas en trabajo (Servicios Agregados del Gobierno, Agropecuario, Alimentos Bebidas y Tabaco) y con bajos niveles de sustitución en la elección capital-trabajo (K-L), en tanto que los grandes perdedores, además de ser grandes emisores, son intensivos en capital (Industrias Básicas de Metales no Ferrosos, Minería, Fabricación de

Productos de Caucho, Fabricación de Vidrio y Productos de Vidrio, Transportes, entre otros), con bajas elasticidades de sustitución en el paquete K-L.

Figura 3

Cambios en la Producción Doméstica por Rama dada una Tasa de Contribución Ambiental del 5.5% y una Disminución del 25% en Impuestos a la Nómina



Un resultado sobre el que se quiere llamar la atención es el hecho de que en estas simulaciones el ingreso real (el ingreso del consumidor dividido en el Índice de Precios del Consumidor), ha permanecido constante de manera que las posibles pérdidas en el consumo, consecuencia del aumento de los precios, son compensadas con el aumento del ingreso subsiguiente a la disminución del desempleo del factor trabajo, dadas las transferencias del gobierno. ¿Es posible la existencia de Doble Dividendo? En el presente marco de política, parece una oportunidad plausible.

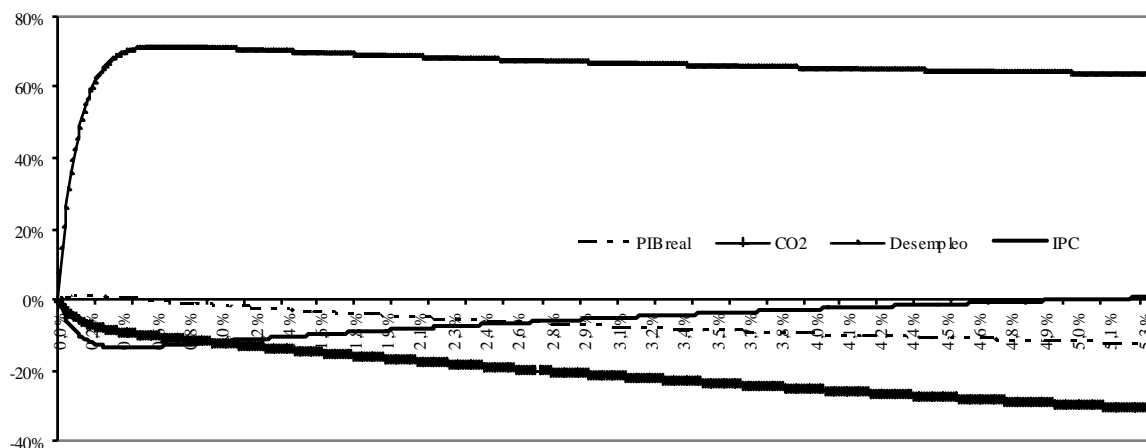
El segundo cuerpo de política consiste en financiar recortes del impuesto a la renta, que grava la riqueza del agente representativo, con los recaudos del impuesto ambiental. En principio, la política debería ampliar el presupuesto del consumidor; se recordará sin embargo, que este individuo consume parte de su ingreso y ahorra una fracción *m_{ps}* del mismo, de manera que el nuevo ingreso no se dirige totalmente a la demanda.

Del lado de la producción, el nuevo impuesto tiene un fuerte impacto en los costos de producción porque no se compensan, como en el caso del primer experimento de política, con reducciones en los costos de adquisición de los factores; por supuesto, la producción no solo se hace más costosa por el impuesto ambiental a la rama, —que afecta la demanda final en forma negativa—, sino por el hecho de que los insumos intermedios, que presentan elasticidad de sustitución cero, también resultan más caros, imprimiendo mayores cargas a la producción.

Los resultados agregados del segundo cuerpo de política, que implica reducciones en el impuesto a la renta financiados con el impuesto a las emisiones, se ilustran en la Figura 4, en la que se observan unos, —al menos desde la lógica del equilibrio parcial— muy inesperados resultados sobre el desempleo que aumenta hasta en un poco creíble 70%. La pregunta que nos formulamos se relaciona directamente con la estructura del modelo utilizado; resulta que el experimento adelantado impone cargas demasiado gravosas, con pocas oportunidades de ajuste sobre los sectores más contaminantes, que pueden reducir su actividad en más del 50%, como es el caso de las industrias 21, 14, 2 y 5 (Industria Básica de Metales no Ferrosos, Petróleo y Derivados del Petróleo, Minería, y Fabricación de Alimentos Bebidas y Tabaco, respectivamente) mientras que el sector agrícola crece en cerca de tres veces respecto de la situación base. Sin embargo, el lector deberá tener en mente que el mercado de capital se vacía completamente en tanto que el mercado de trabajo presenta desempleo; el empleo es la variable de ajuste que por virtud del hecho de que presenta una cierta movilidad que no presenta el capital, es susceptible de ser reemplazado para alivianar el peso de la política sobre los costos. Mayor desempleo, desde luego, implica una reducción del ingreso del consumidor que en presencia de reducción de la oferta, puede consumir menos.

Figura 4

Política Ambiental Reductora de Impuestos a la Renta
Efectos sobre las Emisiones, la Producción, de Desempleo y los Precios

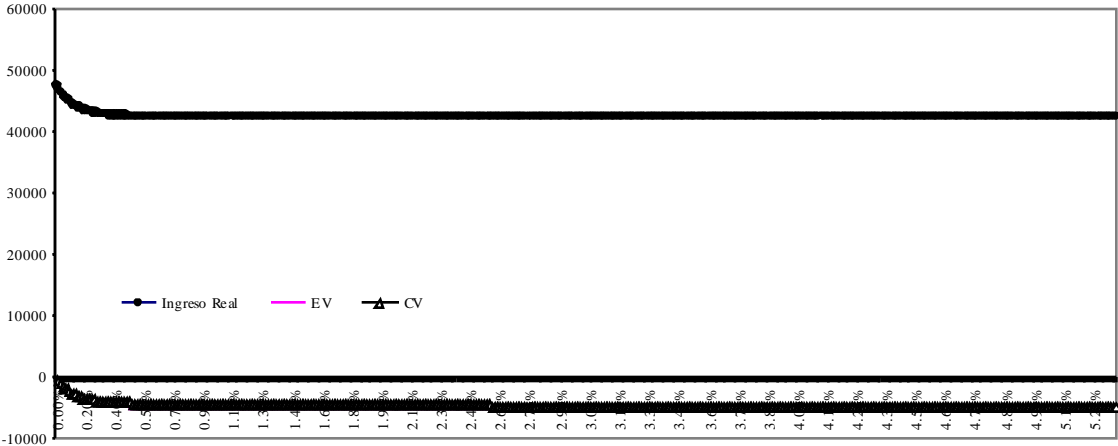


En relación con el primer conjunto de simulaciones, si bien las demás variables presentan un comportamiento equiparable al obtenido de la reducción del impuesto a la nómina, los niveles indican un importante nivel de distorsión relacionado con el impuesto de renta. Las simulaciones en estos escenarios muestran que a una tasa de impuesto ambiental promedio máxima del 5.5% del valor bruto de la producción, la reducción en las emisiones es 1.7 veces mayor que en el primer ejercicio, pero no porque las industrias reconviertan o pretendan *motu proprio* reducir la intensidad, sino por que la gravosa carga fiscal sobre las industrias, no está compensada de ninguna manera, obligándolas a desaparecer. La reducción en la producción aquí es del 12.4%, que no es demasiado diferente del 11%; sin embargo, el ingreso real de consumidor representativo disminuye en forma permanente; los indicadores EV y CV muestran una clara desmejora luego del choque como consecuencia de las disminuciones en las transferencias del gobierno (Figura 5).

La distribución a lo largo de las ramas de actividad de los efectos sobre la producción muestra una situación bastante distinta respecto de la primera forma de intervención. El principal ganador es el sector agropecuario, que absorbe empleo barato, seguido de varias ramas asociadas a la prestación de servicios con bajos niveles de emisión;

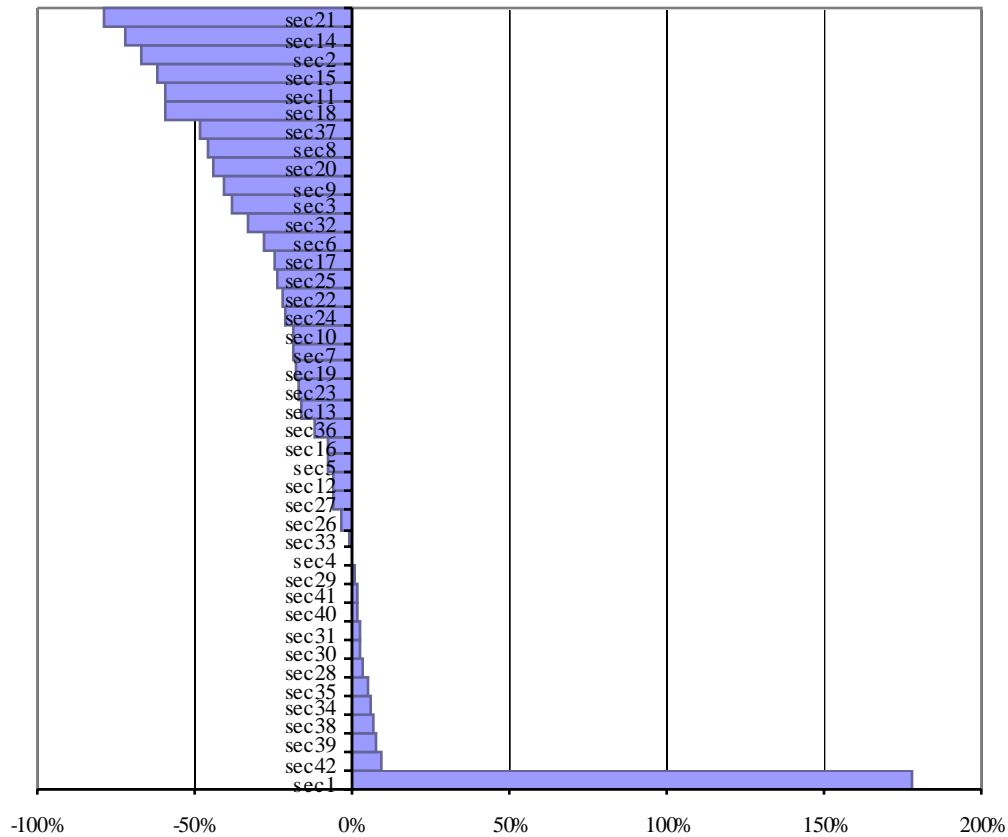
en contraste la mayor disminución se observa en las ramas de actividad Industrias Básicas de Metales no Ferrosos, Minería y Derivados del Petróleo cuyas emisiones directas suman cerca del 10% del total del sistema urbano (Figura 6).

Figura 5
 Política Ambiental Reductora de Impuestos a la Renta
 Variaciones Equivalente y Compensada, e Ingreso Real.



El resultado ilustra con claridad los impactos directos e indirectos (ignorados, reiteramos, por los tradicionales análisis de equilibrio parcial) del tributo ambiental sobre la producción, dado el grado de distorsión que el impuesto a la renta introduce. Evidentemente, la elección del instrumento fiscal a reciclar con los ingresos provenientes de impuestos ambientales generalizados, no tiene un efecto neutral sobre la distribución de la producción: todo lo contrario, supone para la Administración una elección que ha de ser valorada a la luz de resultados experimentales como estos a que hemos llegado. La Tabla 3 resume los resultados sobre la producción, las emisiones de CO₂, el empleo y el nivel de precios, según el instrumento fiscal pre-existente, sujeto de reciclaje.

Figura 6
Cambios en la Producción Doméstica por Rama de Actividad
Dada una Tasa de Contribución Ambiental del 5.5% y una Disminución del 100% en
Impuestos a la Renta



6. Discusión y Conclusiones

Los resultados del acápite anterior muestran que la posibilidad del doble dividendo depende del nivel de interacción entre los impuestos ambientales y del grado de distorsión que otros impuestos pre-existentes introducen a la economía. En particular, en nuestro caso, los impuestos a la nómina parecen causar menos distorsión que los impuestos sobre el ingreso

y el patrimonio de manera que la elección del instrumento fiscal a reciclar con los ingresos provenientes del impuesto ambiental no es, en absoluto, inocua.

Tabla 3
Reformas Fiscales Ambientalmente Motivadas
Resumen de Resultados

Impuesto Ambiental: Proporción del VBP	Recorte de Impuestos a la Nómina				Recorte del Impuesto de Renta			
	Δ PIB real	Δ CO2	Δ Deseempleo	Δ IPC	Δ PIB real	Δ CO2	Δ Deseempleo	Δ IPC
0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
0,25%	-0,68%	-1,06%	-0,39%	0,79%	0,92%	-7,73%	62,60%	-12,70%
0,51%	-1,32%	-2,09%	-0,75%	1,54%	0,18%	-9,72%	70,81%	-13,50%
0,75%	-1,95%	-3,12%	-1,11%	2,30%	-0,69%	-11,00%	71,47%	-12,81%
1,00%	-2,55%	-4,12%	-1,45%	3,02%	-1,56%	-12,19%	71,03%	-11,92%
1,25%	-3,13%	-5,07%	-1,77%	3,71%	-2,41%	-13,39%	70,44%	-10,99%
1,50%	-3,70%	-6,04%	-2,08%	4,40%	-3,21%	-14,54%	69,87%	-10,12%
1,75%	-4,24%	-6,97%	-2,38%	5,06%	-3,98%	-15,70%	69,31%	-9,26%
2,00%	-4,78%	-7,90%	-2,67%	5,72%	-4,71%	-16,82%	68,80%	-8,44%
2,25%	-5,30%	-8,79%	-2,96%	6,36%	-5,42%	-17,94%	68,30%	-7,63%
2,50%	-5,82%	-9,69%	-3,23%	7,00%	-6,11%	-19,07%	67,81%	-6,83%
2,75%	-6,29%	-10,51%	-3,49%	7,60%	-6,77%	-20,16%	67,36%	-6,08%
3,00%	-6,78%	-11,37%	-3,75%	8,22%	-7,40%	-21,26%	66,92%	-5,33%
3,25%	-7,24%	-12,16%	-3,99%	8,80%	-8,03%	-22,36%	66,50%	-4,60%
3,50%	-7,72%	-12,98%	-4,25%	9,41%	-8,62%	-23,42%	66,10%	-3,90%
3,75%	-8,16%	-13,73%	-4,48%	9,97%	-9,20%	-24,48%	65,71%	-3,22%
4,00%	-8,60%	-14,47%	-4,71%	10,54%	-9,76%	-25,54%	65,34%	-2,54%
4,25%	-9,03%	-15,18%	-4,93%	11,10%	-10,30%	-26,56%	64,99%	-1,90%
4,50%	-9,44%	-15,86%	-5,15%	11,64%	-10,82%	-27,58%	64,65%	-1,26%
4,75%	-9,86%	-16,53%	-5,37%	12,20%	-11,34%	-28,60%	64,32%	-0,64%
5,00%	-10,26%	-17,17%	-5,58%	12,74%	-11,82%	-29,59%	64,01%	-0,05%
5,25%	-10,66%	-17,77%	-5,78%	13,27%	-12,32%	-30,61%	63,70%	0,55%

Cálculos: Autor

En un contexto multisectorial se precisa tener en cuenta el grado de encadenamiento hacia atrás de cada sector. Es cierto, por ejemplo, que un sector puede emitir en forma directa pequeños niveles de contaminantes; sin embargo, si sus demandas intermedias incorporan en gran medida insumos provenientes de sectores contaminantes, el efecto de la política estará mediado por esta circunstancia, además de por el grado de sustituibilidad entre factores de producción, que imprimen mayores o menores grados de aprovechamiento de la política dependiendo de la intensidad con que se use uno u otro factor sujeto a un impuesto de uso.

En el caso de Bogotá hay varios aspectos que analizar. Por ejemplo, las distorsiones existentes resultarán mucho más complejas que lo que el modelo describe porque, precisamente, los impuestos analizados no hacen parte de los ingresos corrientes del Distrito Capital. En la vida real, el impuesto a la renta recaudado por el gobierno nacional que luego devuelve una fracción de lo recaudado, en el entendido de que la ciudad debe contribuir al financiamiento de municipios que no son capaces de producir ingresos propios, esto es, la posibilidad del doble dividendo no depende únicamente de los aspectos que recoge y describe el modelo computable; depende de las condiciones políticas que determinan las competencias regionales al interior del país.

Hacemos énfasis en que los resultados que hemos presentado, en especial aquellos que se refieren a la reducción del impuesto a la nómina, no son de ninguna manera una prueba de la posibilidad efectiva del doble dividendo. En efecto, aún cuando el modelo pretende capturar la mayor riqueza posible de la estructura intersectorial de la economía de Bogotá, existen además de las restricciones económicas relevantes, un amplio conjunto de restricciones institucionales y políticas que pueden limitar el alcance de una propuesta de esta índole. Por ejemplo, el reparto territorial de las cargas y los beneficios asociados al reparto de los Ingresos Corrientes de la Nación, no hace posible que el recaudo total por concepto de IVA, se quede en Bogotá y que la ciudad pueda determinar en ausencia de debate político en el Congreso de la República, la destinación de estos recursos. De manera paralela, la reducción de los impuestos a la nómina, que constituyen los principales ingresos de los sistemas pensional y de salud, es una competencia de nivel nacional, antes que distrital; la Administración Distrital no tiene ningún grado de libertad respecto de este segmento de la política pública nacional.

El beneficio principal de nuestro modesto ejercicio consiste en mostrar la necesidad de considerar la economía como un sistema cerrado y completo siempre que se quiera introducir reformas de alto impacto económico como las que proponemos por hipótesis, y que es posible profundizar en la distribución de impactos en una economía compleja con prácticas analíticas de bajo costo; el sacrificio de permitir que economistas y otros analistas entren a formar parte de los grupos de gestión ambiental en todas las esferas del gobierno es

pequeño, en comparación con los beneficios que pueden obtenerse de una planeación en la que las iniciativas públicas hayan sido adoptadas habiendo considerado diversas opciones alternativas de acción .

Respecto de la metodología aplicada, el artículo tiene un objetivo propedéutico, consistente en presentar una opción computacional para la evaluación de la política pública. Advertimos que no obstante la solidez teórica y del detalle conceptual que insume nuestro modelo, el análisis aplicado de equilibrio general no está exento de crítica, en especial por el *síndrome de la caja negra* que adolece en razón a la complejidad que involucra; es cierto sin embargo, que la labor de construcción de este tipo de modelos, aunque costosa, también proporciona resultados que arrojan mayor luz sobre el espacio de acción del tomador de decisiones, alejándolo de la posibilidad de adoptar decisiones, poco informadas, con resultados exiguos o incluso, negativos para el bienestar de los individuos que comprende la estructura social.

* * *

Hemos de precisar que se ha supuesto que el ahorro externo permanece sin cambio, así como que la inversión se financia con esa fracción constante del ingreso del agente representativo que no es consumido ni utilizado para pagar las contribuciones de renta. Al tratarse de un modelo de corto plazo, no hay un mecanismo que describa la acumulación de capital como una función de la elección intertemporal de un individuo representativo que elige su consumo no solo hoy sino en el futuro. Al lector resultará claro que las consecuencias sobre el crecimiento no pueden ser analizadas en el presente contexto. La incorporación de una suerte de dinámica que haga posible asignaciones consistentes tanto intertemporal cuanto intratemporalmente será tema de un segundo trabajo sobre esta misma línea de investigación.

Bibliografía y Fuentes

Armington, P.S., 1969. *A Theory of Demand for Products Distinguished by Place of Production*. IMF Staff Papers 16(1): 170-201.

Ballard, Charles L., and Steven G. Medema, 1993. “The Marginal Efficiency Effects of Taxes and Subsidies in The Presence of Externalities. A Computational General Equilibrium Approach”. *Journal of Public Economics* 52: 199-216.

Baumol, William J., and Wallace E. Oates, 1988. *The Theory of Environmental Policy*, 2nd edition. Cambridge (U.K.): Cambridge University Press.

Bayar, Ali H (2005). EcoMod3T: An Open Static General Equilibrium Model with Government and Unemployment. *Mimeo*. The EcoMod Modeling School, 2005. Brussels: Université Libre de Bruxelles.

Beghin, John, Sébastien Dessus, David Roland-Holst and Dominique van der Mensbrugge, September, 1996. “General Equilibrium Modeling of Trade and Environment” OCDE Development Centre Working Paper No. 116.

Bogotá, D.C., Colombia, Departamento Administrativo del Medio Ambiente, 2002: *Plan Maestro de Gestión Ambiental 2001-2009*. Bogotá: DAMA.

Bogotá, D.C., Colombia, Departamento Administrativo de Planeación Distrital, 2005: *Matriz de Contabilidad Social para Bogotá y la Región*. Contrato No. ECO 175-03. Bogotá: DAPD.

Bogotá, D.C., Colombia, Departamento Administrativo de Planeación Distrital, 2001: *Observatorio de Dinámica Urbana Volumen 1*. Bogotá: DAPD.

Bogotá, D.C., Colombia, Secretaría de Hacienda Distrital, 2003: *Cuentas Económicas de Bogotá, Distrito Capital*. Bogotá: SHD.

Böhringer, Christoph and Thomas F. Rutherford, 2004. “General Equilibrium Modeling and Energy Policy Analysis”. ZEW Discussion Paper No. 04-54.

Böhringer, Christoph and Thomas F. Rutherford, 2002. “In Search of a Rationale for Differentiated Environmental Taxes”. ZEW Discussion Paper No. 02-30.

Bovenberg, Lans A., and Lawrence H. Goulder, September 2001. “Environmental Taxation and Regulation” NBER Working Paper 8458, Cambridge Massachussets.

Bovenberg, Lans A., and Lawrence H. Goulder, September 1996. "Optimal Environmental Taxation in the Presence of Other Taxes: General Equilibrium Analyses", *American Economic Review* 86(4), 985-1000.

Bovenberg, Lans A., and Ruud A. de Mooij, March 1997. "Environmental Levies and Distortionary Taxation: Reply". *The American Economic Review*. 87(1): 252-253.

Bovenberg, Lans A., and Ruud A. de Mooij, September 1994. "Environmental Levies and Distortionary Taxation". *The American Economic Review* 84(4): 1085-1089.

Bovenberg, Lans A., and F. van der Ploeg, 1994. "Environmental Policy, Public Finance and the Labor Market in a Second Best World". *Journal of Public Economics* 55: 349-390.

Cardenete, Manuel A., and Esther Velázquez, 2005. "Performing an Environmental Tax Reform in a Regional Economy. A Computable General Equilibrium Approach". *The Annals of Regional Science* 38:1-18.

Cardenete, Manuel A., March 2003. "An Applied General Equilibrium Model to Assess the Impact of National Tax Changes on a Regional Economy." RUDRDS Vol. 15, No. 1. The Applied Regional Science Conference. London: Blackwell Publishing.

Chapman, Duane, 1999. *Environmental Economics. Theory, Application, and Policy*. Reading, MA.: Addison-Wesley.

DANE, República de Colombia, 2003. *Cuentas Departamentales Colombia, 1990-2002*. Bogotá: DANE.

Dawkins, Christina., T.N. Srinivasan and John Whalley, 2001. "Calibration". In: J.J. Heckman and E. Leamer (editors) *Handbook of Econometrics* Vol. 5. Amsterdam: Elsevier, 3653-3703.

Dervis Kemal, Jaime de Melo and Sherman Robinson (1982) *General Equilibrium Models for Development Policy*. London: Cambridge University Press.

Devarajan, Shantayanan and Delfin S. Go, 1998. "The Simplest Dynamic General-Equilibrium Model of an Open Economy", *Journal of Policy Modeling* 20(6), 677-714.

Diamond, Peter A. and James A. Mirrlees, March, 1971. "Optimal Taxation and Public Production I: Production Efficiency". *The American Economic Review* 61(1): 8-27.

Diamond, Peter A. and James A. Mirrlees, June, 1971. "Optimal Taxation and Public Production II: Tax Rules". *The American Economic Review* 61(3): 261-278.

Dixon Peter B., Parmenter and Powell, 1992. *Notes on Computable General Equilibrium Modeling*. Amsterdam: North-Holland.

Field, Barry C., 1994. *Environmental Economics. An Introduction*. Singapore: McGraw-Hill.

Fischer, Carolyn, Ian W.H. Parry and William A. Pizer, 1999. "Instruments Choice for Environmental Protection When Technological Innovation is Endogenous". Resources for the Future Discussion Paper 99-04, Washington D.C.

Fullerton, Don and Gilbert E. Metcalf, September 1997. "Environmental Taxes and The Double-Dividend Hypothesis: Did You Really Expect Something for Nothing?" NBER Working Paper 6199, Cambridge Massachussets.

Fullerton, Don and Gilbert E. Metcalf, July 1997. "Environmental Controls, Scarcity Rents and Pre-Existing Distortions." NBER Working Paper 6091, Cambridge Massachussets.

Fullerton, Don, March 1997. "Environmental Levies and Distortionaty Taxation: Comment." *The American Economic Review* 87(1): 245-251.

Gahvari, Firouz, March, 2002. "Environmental Taxation and The Double Dividend". *Journal of Economic Literature* 40(1): 221-223.

Ginsburg, Victor and Michiel Keyzer, 1997. *The Structure of Applied General Equilibrium Models*. Cambridge, MA: MIT Press.

Goulder, Lawrence H., Ian W. Parry., Roberton C. Williams III and Dallas Burtraw, March 1998. "The Cost-Effectiveness of Alternative Instruments for Environmental Protection in a Second-Best Setting". NBER Working Paper 6464, Cambridge Massachussets.

Kelley, Allen C., and Jeffrey G. Williamson, 1994. *What Drives Third World City Growth? A Dynamic General Equilibrium Approach*. Princeton, N.J.: Princeton University Press.

Löfgren, Hans, Rebecca L. Harris and Sherman Robinson, 2002. "A Standard Computable General Equilibrium Model (CGE) in GAMS. Microcomputers in Policy Research Working Paper No. 5, IFPRI, Washington, D.C.

Munk, Knud J., 2002. "Assessment of The Introduction of Road Pricing using a General Equilibrium Model." Mimeo, Institute of Economics, University of Copenhagen.

O’Ryan, Raúl, Sebastian Miller and Carlos J. de Miguel, 2003. "Environmental Taxes, Inefficient Subsidies and Income Distribution in Chile: A CGE Framework." Mimeo, Centro de Análisis de Políticas Públicas, Universidad de Chile.

Parry, Ian W.H., 1998, "The Double Dividend: When You Get it and When You Don't." Paper presented at the National Tax Association Meetings. Austin, Texas.

Parry, Ian W.H. and Antonio M. Bento, 2001, "Tax Deductions, Environmental Policy and the "Double Dividend" Hypothesis. Mimeo. Resources for The Future.

Pearce, David W. y R. Ferry Turner, 1995. *Economía de los Recursos Naturales y del Medio Ambiente*. Madrid: Celeste.

IDEAM, República de Colombia, 2000. *El Medio Ambiente en Colombia*. Bogotá: IDEAM.

Romer, David, 2001. *Advanced Macroeconomics, Second Edition*. Boston: Irwin – McGraw-Hill.

Rutherford, Thomas F., and Sergey Paltsev, 1999. "From an Input-Output Table to a General Equilibrium Model: Assessing the Excess Burden of Indirect Taxes in Russia". Mimeo, University of Colorado, Boulder.

Sala-i-Martin, Xavier, 2000. *Apuntes de Crecimiento Económico, Segunda Edición*. Barcelona: Antoni Bosch.

Sánchez, Fabio y Silvia Espinosa, Febrero 2005. "Impuestos y Reformas Tributarias en Colombia. 1980-2003". Documento CEDE 2005-11. Bogotá: Universidad de Los Andes.

Sandmo, Agnar, 1975, "Optimal Taxation in the Presence of Externalities". *Quarterly Journal of Economics*, 94, 799-807.

Segura, J. Carlos, 2005a, "SfbCGE: Porción básica del modelo de equilibrio económico de Bogotá". Bogotá: DAPD.

Segura, J. Carlos, 2005b, "Understanding the FTA: Assessment of Benefits and Cost for Bogotá". Bogotá: DAPD.

Shoven, John B., and John Whalley, 1992. *Applying General Equilibrium*. Cambridge: Cambridge University Press.

Shoven, John B., and John Whalley, 1984. "Applied General Equilibrium Models of Taxation and International Trade: An Introduction and Survey". *Journal of Economic Literature* 22: 1007-1051.

Silberberg, Eugene and Wing Sue, 2000. *The Structure of Economic, A Mathematical Analysis, Third Edition*. Singapore: McGraw-Hill International Edition.

Terkla, David, 1984, “The Efficiency Value of Effluent Tax Revenues”. *Journal of Environmental Economics and Management*, 11, 107-123.

Uribe B., Eduardo, 2005, “The Evolution of Colombian Environmental Institutions: 1971 – 2004”. Documento CEDE 2005-04. Bogotá: Universidad de Los Andes.

Anexo 1: Bases de Datos de la Economía Modelo

A.1.1. Convenciones y Acrónimos

Acrónimo	Sector
sec1	Agropecuario
sec2	Minería
sec3	Servicios de electricidad y gas de ciudad
sec4	Agua
sec5	Alimentos, Bebidas y Tabaco
sec6	Fabricación de Textiles y de Prendas de Vestir
sec7	Industria del cuero y productos de cuero
sec8	Fabricación de calzado, excp de caucho
sec9	Industria de madera y productos de madera
sec10	Fabricación de muebles y accesorios excepto metálicos
sec11	Fabricación de papel y productos de papel
sec12	Imprentas, editoriales e industrias conexas
sec13	Fabricación de Sustancias Químicas Industriales y Otros Productos Químicos
sec14	Petróleo y Derivados del Petróleo
sec15	Fabricación de productos de caucho
sec16	Fabricación de productos plásticos N.E.P.
sec17	Fabricación de objetos de barro, loza y porcelana
sec18	Fabricación de vidrio y productos de vidrio
sec19	Fabricación de otros productos minerales no metálicos
sec20	Industria básica de hierro y acero
sec21	Industria básica de metales no ferrosos
sec22	Fabricación de productos metálicos excepto maquinaria y equipo
sec23	Fabricación de maquinaria excepto la eléctrica
sec24	Fabricación de maquinaria, aparatos, accesorios y sumin. eléctricos
sec25	Fabricación de material de transporte
sec26	Fabricación de equipo profesional y científico
sec27	Otras Industrias manufactureras
sec28	Construcción de edificios
sec29	Trabajos y obras de ingeniería civil
sec30	Comercio y Servicios de reparación
sec31	Servicios de Hotelaría y Restaurantes
sec32	Transporte
sec33	Servicio de correo y telecomunicaciones
sec34	Servicio de intermediación financiera
sec35	Servicios inmobiliarios y alquiler de vivienda
sec36	Servicios a las empresas, excepto servicios financieros e inmobiliarios
sec37	Servicios Agregados del Gobierno
sec38	Servicios de enseñanza de mercado
sec39	Servicios sociales y de salud de mercado
sec40	Servicios de asociaciones, esparcimiento de mercado
sec41	Saneamiento
sec42	Servicios domésticos

Acrónimo	Variable
D	Demanda de Trabajo
k0	Demanda de capital
d	Consumo Final
inv0	Acumulación (FIBK + d INV)
cg0	Consumo del Gobierno
e0	Exportaciones
m0	Importaciones
trc0	Impuesto al Consumo
trD	Impuesto al uso del Factor Trabajo
trk0	Impuesto al uso de l Factor Capital
trm0	Tarifas y Otros Sobre Importaciones
sigmaA	Elasticidad (CES) - Armington
sigmaF	Elasticidad de Substitución - K-L
sigmaT	Elasticidad de Transformación
co2	Emisiones - CO2
so2	Emisiones - SOx

A1.2. Insumo Producto, Valor Agregado y Emisiones de CO₂

Flujos Medidos en Miles de Millones de Pesos Constantes de 2000.
Emisiones Medidas en Gigagramos (Gg). 1Gg = 1000 Tm = 1x10⁶gr

io0(j,i)	sec1	sec2	sec3	sec4	sec5	sec6	sec7	sec8	sec9	sec10	sec11	sec12	sec13	sec14	sec15
sec1	29.7	-	-	-	819.4	22.7	0.1	0.2	9.4	2.0	-	0.0	1.7	-	1.9
sec2	-	1.5	-	-	0.6	0.3	-	-	-	-	0.1	-	2.0	3.1	0.1
sec3	6.6	0.4	445.0	11.5	63.7	40.1	1.6	1.3	0.8	1.2	4.9	13.4	36.4	1.9	3.5
sec4	1.0	0.1	1.2	5.0	10.2	5.5	0.4	0.1	0.1	0.2	0.5	1.7	4.1	0.2	0.3
sec5	5.8	-	0.1	0.0	442.0	0.8	6.5	0.4	0.0	0.0	0.3	0.1	95.9	-	0.0
sec6	1.5	0.0	0.4	0.6	1.6	482.3	4.6	2.7	0.3	7.1	1.3	2.5	6.3	0.2	1.4
sec7	0.0	-	0.1	-	0.0	2.2	15.3	12.7	-	1.4	-	0.3	-	-	0.2
sec8	0.0	-	0.1	0.2	0.3	0.1	-	1.3	-	-	0.0	0.1	0.3	0.1	-
sec9	0.9	0.2	1.2	-	4.1	2.0	0.0	0.1	5.7	11.3	0.2	1.6	0.3	0.1	0.0
sec10	-	-	0.1	0.0	0.4	2.1	0.1	0.0	0.1	2.0	0.2	0.6	1.4	0.1	0.4
sec11	1.3	0.0	5.4	1.0	62.0	17.1	1.5	1.0	0.5	0.8	86.7	166.7	45.5	4.7	1.2
sec12	0.3	-	2.8	0.1	48.5	5.7	0.9	0.2	0.0	1.0	1.0	13.7	48.6	2.1	1.0
sec13	40.0	2.4	3.6	15.6	66.4	115.1	4.3	3.0	1.2	4.0	19.6	41.0	621.8	14.3	33.6
sec14	1.8	2.1	2.1	1.1	23.6	17.0	0.8	0.1	0.4	0.4	4.0	0.4	14.8	83.2	6.6
sec15	0.2	0.1	1.5	0.9	12.3	4.9	0.4	5.8	0.7	2.1	1.1	2.0	6.3	0.2	15.3
sec16	23.2	0.1	0.7	0.9	129.0	25.2	0.9	1.2	0.6	2.4	5.7	12.7	62.2	8.7	3.9
sec17	0.1	-	-	-	0.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
sec18	-	-	-	0.0	30.2	0.1	0.0	0.0	0.2	0.5	-	0.0	18.5	0.4	0.7
sec19	-	-	11.5	0.2	1.6	0.0	0.0	0.0	-	0.1	0.1	0.0	4.0	0.3	0.6
sec20	-	-	-	0.9	-	-	-	-	0.0	1.7	0.1	0.0	1.0	-	0.6
sec21	-	-	-	0.3	-	0.1	-	-	0.9	0.3	0.0	0.2	1.8	0.1	0.0
sec22	0.3	2.2	2.7	0.3	46.1	0.6	1.6	0.4	0.5	2.8	0.1	0.7	25.6	11.0	1.6
sec23	0.1	0.1	4.9	7.6	7.2	19.0	0.4	0.2	0.3	1.5	2.3	18.1	2.0	0.6	0.2
sec24	0.4	0.1	68.6	2.9	17.6	8.7	0.3	0.3	0.3	0.6	3.4	8.0	9.7	0.6	1.1
sec25	0.1	0.2	0.4	0.1	7.8	3.9	0.2	0.1	0.1	0.2	0.4	0.8	4.3	0.3	0.5
sec26	-	-	1.1	1.1	0.5	-	-	-	-	-	-	-	4.4	-	-
sec27	-	0.1	0.6	1.3	2.4	5.4	2.1	0.3	0.0	0.4	0.2	3.2	4.9	0.0	0.3
sec28	0.1	0.0	9.6	1.5	11.0	1.2	0.1	0.1	0.0	0.2	0.4	0.6	1.7	0.1	0.1
sec29	-	-	37.1	5.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
sec30	0.2	0.1	1.8	0.5	29.8	15.7	0.6	0.5	0.4	0.8	5.0	19.6	17.5	3.2	2.5
sec31	0.3	-	1.4	0.6	5.1	4.0	0.1	0.1	0.2	0.3	1.0	3.9	10.6	0.2	0.3
sec32	2.6	0.1	12.9	1.4	55.7	22.5	1.6	1.0	0.4	2.4	5.5	23.0	56.1	2.5	3.2
sec33	0.5	0.0	5.7	5.8	26.8	12.8	0.3	0.2	0.4	1.2	1.5	9.5	21.3	0.7	1.6
sec34	8.2	0.2	14.7	9.2	11.5	4.5	0.2	0.2	0.1	0.3	0.4	3.0	4.7	0.2	0.4
sec35	0.1	0.0	7.4	0.4	26.1	14.9	0.1	0.5	0.2	3.2	0.2	0.8	15.5	0.6	3.8
sec36	4.6	0.6	36.7	26.8	216.9	137.6	9.1	5.8	6.0	9.1	23.6	179.4	236.4	11.6	12.2
sec37	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
sec38	0.1	0.0	1.0	0.6	2.1	0.9	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.4	1.3	0.1	0.1
sec39	1.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
sec40	1.0	-	1.3	0.2	52.6	1.7	0.1	0.2	0.0	0.6	0.3	2.3	17.0	0.2	1.0
sec41	0.1	0.0	0.7	2.1	7.1	0.3	0.1	0.1	0.1	0.2	0.3	1.2	2.6	0.2	0.2
sec42	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

VA(j)	sec1	sec2	sec3	sec4	sec5	sec6	sec7	sec8	sec9	sec10	sec11	sec12	sec13	sec14	sec15
l0	250.0	43.1	250.3	198.3	1,610.8	460.9	48.0	34.7	31.0	71.0	99.7	652.1	1,368.8	89.8	85.5
k0	0.1	2.1	406.9	54.4	378.4	71.6	6.0	3.4	3.5	5.6	21.0	90.8	234.2	50.9	8.5
c0	1,081.9	3.7	540.4	250.3	3,655.4	814.0	72.3	197.2	3.2	151.2	151.6	482.8	1,102.9	774.7	36.0
inv0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	76.6	-	-	-	-	-
cg0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
e0	308.3	33.1	178.4	30.6	1,689.8	893.9	76.5	38.0	28.8	39.7	128.6	574.8	2,103.3	192.1	116.8
m0	2,205.2	131.6	506.5	48.4	1,582.7	660.5	63.5	188.4	116.2	148.8	753.2	162.7	1,586.0	1,509.4	337.6
trc0	0.1	-	-	-	254.7	217.1	8.3	13.0	3.1	2.5	87.6	24.0	139.3	152.7	28.4
tr10	6.3	1.2	10.3	3.7	468.1	39.4	2.0	1.5	1.3	2.5	5.6	27.8	50.7	342.3	2.3
trk0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
trm0	25.7	0.0	-	-	53.3	37.1	2.7	4.3	0.9	6.2	7.8	4.8	70.0	5.2	22.0
sigmaA	5.8	2.7	2.6	2.1	3.6	3.7	3.2	3.9	4.3	5.5	4.8	4.0	5.6	3.9	4.8
sigmaF	2.1	2.3	2.9	2.8	2.2	2.0	2.0	2.2	2.1	2.4	2.4	2.6	2.0	2.0	2.7
sigmaT	-2.1	-2.6	-2.1	-2.1	-3.0	-2.1	-2.4	-2.2	-2.2	-2.5	-2.5	-2.2	-2.5	-2.5	-2.1
co2	0.7	66.8	720.1	5.4	737.9	218.0	15.9	37.2	24.4	40.7	147.6	142.1	415.3	839.0	69.8

Fuentes: Insumo-Producto y Valor Agregado: SHD (2002); Elasticidades: DAPD (2004); Emisiones: DANE, IDEAM y Cálculos Propios

A.1.2. Insumo Producto, Valor Agregado y Emisiones de CO₂ (continuación)

Flujos Medidos en Miles de Millones de Pesos Constantes de 2000.
Emisiones Medidas en Gigagramos (Gg). 1Gg = 1000 Tm = 1x10⁶gr

io0(j,i)	sec22	sec23	sec24	sec25	sec26	sec27	sec28	sec29	sec30	sec31	sec32	sec33	sec34	sec35
sec1	-	-	-	-	-	-	-	-	13.8	106.7	-	-	-	-
sec2	0.8	0.1	0.1	0.2	-	0.2	68.8	43.8	-	-	-	-	-	-
sec3	5.0	4.2	4.0	6.8	1.3	2.0	6.5	3.2	66.7	35.1	19.6	21.8	50.7	22.8
sec4	1.1	0.7	1.1	0.9	0.3	0.4	10.3	4.8	5.9	18.1	0.7	1.6	2.4	2.2
sec5	0.0	0.0	0.0	0.1	-	0.4	0.1	0.1	0.2	356.6	0.2	0.1	0.2	0.1
sec6	1.2	0.5	2.4	11.6	1.5	6.4	17.9	-	0.2	7.1	8.7	1.6	0.1	1.1
sec7	0.0	0.0	-	0.6	0.1	0.8	-	-	-	-	0.1	-	0.0	0.0
sec8	0.1	0.1	0.1	0.1	-	-	3.6	-	0.3	5.4	-	0.1	-	-
sec9	3.1	1.7	2.4	1.0	-	5.7	52.3	10.3	5.7	0.6	1.1	0.0	-	-
sec10	0.1	-	0.3	0.0	-	0.0	-	-	7.0	0.8	-	0.2	3.2	0.0
sec11	2.4	5.4	5.9	1.5	0.5	4.1	0.1	-	23.1	6.8	12.4	11.6	33.9	2.1
sec12	3.3	1.2	3.0	6.8	0.7	3.3	5.8	-	91.4	8.7	3.8	3.0	38.5	6.5
sec13	21.4	26.2	17.8	17.7	8.5	17.8	32.8	22.8	7.1	14.8	6.8	1.7	1.1	1.4
sec14	2.9	1.8	3.3	4.2	0.3	1.1	6.5	1.7	24.6	15.2	649.0	22.8	22.3	0.1
sec15	1.6	4.8	2.1	25.0	0.3	0.8	-	0.4	26.2	-	236.9	3.1	-	-
sec16	7.1	5.7	6.9	9.7	7.6	11.1	44.6	7.5	78.9	13.3	5.5	7.9	2.6	0.4
sec17	0.0	0.0	3.4	0.0	-	0.1	77.3	28.5	-	36.6	-	-	-	-
sec18	2.3	2.8	5.5	18.6	0.5	1.6	70.0	-	7.6	2.7	1.3	0.2	0.5	0.1
sec19	1.2	0.2	0.2	1.0	-	0.4	261.9	159.2	-	-	-	0.4	-	-
sec20	95.9	43.7	25.4	39.3	0.5	2.5	119.8	239.8	-	-	-	-	-	-
sec21	12.9	7.6	30.4	4.5	3.5	2.3	3.0	-	-	-	-	-	-	-
sec22	10.4	15.5	21.6	36.2	0.5	1.0	104.8	9.9	11.1	1.4	3.9	7.6	-	0.1
sec23	1.2	16.4	2.2	9.9	0.0	0.1	8.3	4.8	9.3	0.2	12.0	1.3	0.3	0.1
sec24	4.1	25.9	33.7	18.7	0.6	1.6	41.0	1.3	8.0	16.9	29.8	29.3	14.7	3.9
sec25	1.9	1.0	1.7	393.4	0.5	0.5	1.8	26.2	108.9	1.3	57.3	8.4	1.5	0.8
sec26	0.0	2.8	1.2	0.5	7.8	0.1	-	-	-	0.3	0.4	-	-	-
sec27	0.3	0.3	0.2	0.3	0.1	5.1	-	-	-	1.2	4.1	16.6	0.6	-
sec28	2.7	0.3	0.3	0.6	0.6	1.0	19.2	23.0	11.8	8.3	2.3	8.0	1.3	273.2
sec29	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	53.3	-	-	-
sec30	4.6	3.6	4.8	14.8	2.2	2.4	0.1	5.0	13.9	8.5	303.0	22.5	17.2	0.2
sec31	1.1	1.5	1.2	1.5	0.1	0.3	0.1	2.5	34.2	5.0	11.3	6.0	14.9	2.9
sec32	9.5	8.6	8.4	23.2	3.2	5.5	3.8	17.0	415.4	32.9	442.4	88.1	213.7	16.5
sec33	3.5	4.0	5.9	4.7	1.6	2.1	12.6	8.8	102.6	25.6	50.4	107.1	377.5	6.0
sec34	6.5	3.1	4.1	10.2	0.2	0.8	134.8	23.7	278.2	11.7	91.8	28.0	517.6	10.4
sec35	5.9	4.4	3.8	5.6	1.2	8.0	22.3	2.2	242.3	19.5	8.0	19.0	15.8	-
sec36	49.0	38.9	42.9	87.8	11.2	19.1	38.9	50.6	350.4	24.8	68.7	86.4	419.5	31.2
sec37	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
sec38	0.4	0.2	0.1	0.4	0.1	0.2	1.1	0.7	5.7	0.9	1.3	8.4	3.9	0.7
sec39	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
sec40	7.6	0.1	0.2	7.9	0.1	0.2	-	-	95.3	1.0	11.2	14.8	67.9	0.2
sec41	0.7	0.5	0.7	0.5	0.2	0.2	8.0	-	3.7	8.7	0.4	0.9	2.0	2.4
sec42	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

VA(j)	sec22	sec23	sec24	sec25	sec26	sec27	sec28	sec29	sec30	sec31	sec32	sec33	sec34	sec35
l0	217.8	314.8	344.8	438.6	71.1	161.0	904.3	619.1	3,163.0	833.9	2,022.0	2,048.1	3,823.5	5,792.1
k0	31.0	40.3	42.4	101.0	7.4	35.9	200.1	205.2	249.8	46.8	354.8	338.9	429.4	136.2
c0	83.8	145.7	143.5	266.6	15.5	180.6	56.5	8.0	4,444.7	1,228.4	2,657.3	2,091.1	4,361.9	5,212.9
inv0	112.1	440.0	462.4	476.5	46.0	-	1,707.1	1,367.2	-	-	-	-	-	-
cg0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
e0	261.9	271.9	325.4	742.6	66.8	171.6	75.8	56.5	652.0	414.9	408.0	281.7	1,221.6	406.7
m0	283.5	353.0	570.7	549.9	36.5	99.0	3.0	8.0	-	130.9	217.4	97.8	353.7	-
trc0	37.5	114.7	112.9	209.8	12.2	28.7	-	-	14.0	59.0	45.2	399.0	357.6	14.8
tr10	10.7	6.8	13.5	17.0	2.2	13.7	28.9	29.1	220.4	33.7	104.8	110.3	182.1	123.6
trk0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
trm0	11.2	35.4	45.9	58.8	-	-	-	-	-	-	1.0	-	-	-
sigmaA	3.8	4.0	3.6	4.2	5.8	3.1	5.2	3.3	4.3	2.0	3.0	4.0	3.8	4.0
sigmaF	2.5	2.3	2.8	2.5	2.6	2.5	2.6	2.5	2.1	2.2	2.8	3.0	2.2	2.7
sigmaT	-2.6	-2.7	-2.5	-2.2	-2.7	-2.1	-2.4	-2.4	-2.1	-2.6	-2.5	-2.2	-2.6	-2.0
co2	89.6	113.1	149.1	188.7	16.9	39.2	33.6	22.6	71.8	20.4	4,107.1	96.0	182.2	203.8

Fuentes: Insumo-Producto y Valor Agregado: SHD (2002); Elasticidades: DAPD (2004); Emisiones: DANE, IDEAM y Cálculos Propios

Anexo 2: Calibración de funciones de Elasticidad Constante de Sustitución.

La siguiente exposición resume algunos resultados en Silberberg & Suen (1999) y Shoven & Whalley (1992)

A2.1.- Productos Marginales y Tasas Marginales de Sustitución

La Función de producción CES en, por ejemplo, capital (K) y trabajo (L) puede escribirse de la siguiente manera⁹:

$$Y = \phi \left[\delta K^\rho + (1 - \delta) L^\rho \right]^{\frac{1}{\rho}} \quad [\text{A2.1}]$$

Donde δ es un parámetro de distribución y ρ es un parámetro que se relaciona con la elasticidad de sustitución mediante $\sigma = \rho / (1 + \rho)$, y ϕ es el parámetro de escala; los productos marginales del capital y el trabajo son¹⁰:

$$\frac{\partial Y}{\partial K} = \frac{\phi}{\rho} [\dots]^{\frac{1}{\rho}-1} \cdot \rho \delta K^{\rho-1} \quad [\text{A2.2}]$$

$$\frac{\partial Y}{\partial L} = \frac{\phi}{\rho} [\dots]^{\frac{1}{\rho}-1} \cdot \rho (1 - \delta) L^{\rho-1} \quad [\text{A2.3}]$$

De forma que

$$TMST_{K,L} \equiv \frac{PMgK}{PMgL} = \frac{\delta}{(1 - \delta)} \cdot \left(\frac{K}{L} \right)^{\rho-1} \quad [\text{A2.4}]$$

A2.2.- Demandas de Factores

Considere el problema de minimización de costo unitario para una firma cuya tecnología puede ser descrita con una función de producción como [A2.1]:

$$\underset{k,l}{Min} \quad c = r \cdot K + w \cdot L \quad \text{sujeto a} \quad \phi \left[\delta k^\rho + (1 - \delta) l^\rho \right]^{\frac{1}{\rho}} = 1 \quad [\text{A2.3}]$$

r , w son la remuneración del capital y del trabajo respectivamente, y $k = K/Y$, y $l = L/Y$. Los demás símbolos tienen los significados usuales. El lagrangeano de este problema es:

⁹ Corresponde al formato que se presenta en Chiang (1993) y Silberberg (1999) inter alia.

¹⁰ Cf. Chiang (1993)

$$\Theta(k, l, \lambda) = r \cdot k + w \cdot l - \lambda \left[\phi \left[\delta k^\rho + (1 - \delta) l^\rho \right]^\frac{1}{\rho} - 1 \right] \quad [\text{A2.4}]$$

Y las condiciones de primer orden:

$$[k] := \lambda \left[\phi \left(\dots \right)^\frac{1-\rho}{\rho} \cdot \rho \delta k^{\rho-1} \right] = r \quad [\text{A2.5}]$$

$$[l] := \lambda \left[\phi \left(\dots \right)^\frac{1-\rho}{\rho} \cdot \rho (1 - \delta) l^{\rho-1} \right] = w \quad [\text{A2.6}]$$

$$[\lambda] := \phi \left[\delta k^\rho + (1 - \delta) l^\rho \right]^\frac{1}{\rho} = 1 \quad [\text{A2.7}]$$

combinando [A2.5] y [A2.6] se llega a la forma semireducida estándar de las condiciones de primer orden:

$$\frac{PMg_k}{PMg_l} = \frac{\delta}{(1 - \delta)} \cdot \left(\frac{k}{l} \right)^{\rho-1} = \frac{r}{w} \quad [\text{A2.8}]$$

$$\phi \left[\delta k^\rho + (1 - \delta) l^\rho \right]^\frac{1}{\rho} = 1 \quad [\text{A2.9}]$$

Resolviendo para k la expresión [A2.8] se obtiene el siguiente resultado:

$$\left(\frac{k}{l} \right)^{\rho-1} = \frac{(1 - \delta) r}{\delta w} \quad [\text{A2.10}]$$

$$k = \left(\frac{(1 - \delta) r}{\delta w} \right)^\frac{1}{\rho-1} \cdot l$$

Es conveniente efectuar la siguiente transformación

$$k^\rho = \left(\frac{(1 - \delta) r}{\delta w} \right)^\frac{\rho}{\rho-1} \cdot l^\rho \quad [\text{A2.11}]$$

con el fin de ser insertada en [A2.7] y facilitar la manipulación:

$$\phi \left[\delta \left(\left(\frac{(1 - \delta) r}{\delta w} \right)^\frac{\rho}{\rho-1} \cdot l^\rho \right) + (1 - \delta) l^\rho \right]^\frac{1}{\rho} = 1 \quad [\text{A2.12}]$$

de forma que:

$$\delta \left(\frac{1-\delta}{\delta} \right)^{\frac{\rho}{\rho-1}} \cdot \left(\frac{r}{w} \right)^{\frac{\rho}{\rho-1}} \cdot l^\rho + (1-\delta)l^\rho = \frac{1}{\phi^\rho} \quad [\text{A2.13}]$$

Que expresa en forma unívoca a l y de la cual es posible obtener la demanda de este input por unidad de producto; en efecto:

$$l = \frac{(1-\delta)^{1/(1-\rho)} w^{1/(\rho-1)}}{\phi \left(\delta^{1/(1-\rho)} r^{\rho/(\rho-1)} + (1-\delta)^{1/(1-\rho)} w^{\rho/(\rho-1)} \right)^{1/\rho}} \quad [\text{A2.14}]$$

En forma análoga,

$$k = \frac{\delta^{1/(1-\rho)} r^{1/(\rho-1)}}{\phi \left(\delta^{1/(1-\rho)} r^{\rho/(\rho-1)} + (1-\delta)^{1/(1-\rho)} w^{\rho/(\rho-1)} \right)^{1/\rho}} \quad [\text{A2.15}]$$

A2.3. Calibración

La matriz de contabilidad social proporciona los niveles observados de K , L , e Y y es posible, en general, contar con estimaciones de la elasticidad de sustitución, σ . La calibración, en este caso, involucra escoger valores para los parámetros δ, ϕ tales que reproduzcan en forma exacta los valores de la matriz de contabilidad social en el equilibrio base, sin trabajocomputacional. El procedimiento parte de la consideración de la *Convención de Harberger*, de acuerdo con la cual, en equilibrio, los precios de los factores son tales que $r=w=1$. Recuerde que se ha definido $\sigma = \rho / 1 + \rho$, de manera que tomando [A2.14] y [A2.15],

$$w \cdot l = w \cdot \frac{(1-\delta)^{1/(1-\rho)} w^{1/(\rho-1)}}{\phi \left(\delta^{1/(1-\rho)} r^{\rho/(\rho-1)} + (1-\delta)^{1/(1-\rho)} w^{\rho/(\rho-1)} \right)^{1/\rho}} = \frac{(1-\delta)^{1/(1-\rho)} w^{1/(\rho-1)}}{\phi \left(\delta^{1/(1-\rho)} r^{\rho/(\rho-1)} + (1-\delta)^{1/(1-\rho)} w^{\rho/(\rho-1)} \right)^{1/\rho}}$$

$$r \cdot k = r \cdot \frac{\delta^{1/(1-\rho)} r^{1/(\rho-1)}}{\phi \left(\delta^{1/(1-\rho)} r^{\rho/(\rho-1)} + (1-\delta)^{1/(1-\rho)} w^{\rho/(\rho-1)} \right)^{1/\rho}} = \frac{\delta^{1/(1-\rho)} r^{1/(\rho-1)}}{\phi \left(\delta^{1/(1-\rho)} r^{\rho/(\rho-1)} + (1-\delta)^{1/(1-\rho)} w^{\rho/(\rho-1)} \right)^{1/\rho}}$$

Sea ahora:

$$\Omega_{KL} = \frac{w \cdot l}{r \cdot k} = \frac{\delta^\sigma}{(1-\delta)^\sigma} \cdot \frac{r^{1-\sigma}}{w^{1-\sigma}} \quad [\text{A2.16}]$$

Teniendo presente la convención de Harberger, el parámetro de distribución estimado es:

$$\hat{\delta} = \frac{(\Omega_{KL})^{\frac{1}{\sigma}}}{1 + (\Omega_{KL})^{\frac{1}{\sigma}}} \quad [\text{A2.17}]$$

El parámetro de escala se obtiene de la expresión de costo unitario:

$$c = wI + rk \quad [\text{A2.18}]$$

Reemplazando en esta las demandas [A2.14] y [A2.15]:

$$c = \frac{1}{\phi} \left(\delta^{1/(1-\rho)} r^{\rho/(1-\rho)} + (1-\delta)^{1/(1-\rho)} w^{\rho/(1-\rho)} \right)^{\frac{\rho-1}{\rho}} \quad [\text{A2.19}]$$

Tomando el valor calibrado de δ ,

$$c = \frac{1}{\phi} \left(\hat{\delta}^{\sigma} + (1-\hat{\delta})^{\sigma} \right)^{\frac{1}{1-\sigma}} = 1 \quad [\text{A2.20}]$$

O sea:

$$\hat{\phi} = \left(\hat{\delta}^{\sigma} + (1-\hat{\delta})^{\sigma} \right)^{\frac{1}{1-\sigma}} \quad [\text{A2.21}]$$

Anexo 5: Ecuaciones y Variables en el Modelo

Inventario de Variables y Ecuaciones en el Modelo

Variables			Ecuaciones		
Nombre	Descripción	n	Nombre	Descripción	n
cbud	Gasto de los consumidores	1	eqcbud	Gasto del Consumidor	1
er	Tipo de Cambio	1	eqincome	Ingreso Total	1
ipc	Índice de precios al consumidor	1	eqipc	Índice de Precios al Consumidor (Laspeyres)	1
ks	Difusión de Capital (exógena)	1	eqmarket	Equilibrio en el Mercado de Capital	1
ls	Difusión de Trabajo (exógena)	1	eqmarketl	Equilibrio en el Mercado de Trabajo	1
omega	Variable Objetivo Artificial (para solucionar con NLP)	1	eqs	Ahorro Agregado	1
pk	Retorno del Capital	1	eqsh	Ahorro del Consumidor	1
pl	Tasa de Salario	1	eqarev	Ingresos Fiscales Totales	1
s	Ahorro Agregado	1	eqradbal	Balanza de Pagos	1
sf	Ahorro Externo	1	eqtransfer	Transferencias Totales de las Administraciones Públicas	1
sg	Ahorro del Gobierno	1	eqwage	Ecuación de la Curva de Salarios -- Curva de Phillips	1
sh	Ahorro de los consumidores	1	z	Función Objetivo	1
taxr	Ingresos Fiscales	1	eqc(j)	Demanda del Consumidor por la j-ésima mercancía	42
trf	Transferencias Totales	1	eqg(j)	Demanda del Gobierno por la j-ésima mercancía	42
tro	Otras Transferencias	1	eqmiss(j)	Nivel de Emisiones de CO2 por Industria	42
unemp	Nivel de Desempleo	1	eqexport(j)	Oferta Exportable	42
y	Ingreso de los consumidores	1	eqprice(j)	Precio de las Exportaciones	42
c(j)	Demanda del consumidor por la j-ésima mercancía	42	eqi(j)	Demanda del Banco de Inversión por la j-ésima mercancía	42
cg(j)	Demanda de Consumo del Gobierno	42	eqimport(j)	Demanda por Importaciones	42
e(j)	Exportaciones	42	eqimportprice(j)	Precio de las Importaciones	42
Emiss(j)	Emisiones de CO2 por Industria	42	eqk(j)	Demanda de Capital de la j-ésima firma	42
inv(j)	Demanda de Inversión	42	eql(j)	Demanda de Trabajo de la j-ésima firma	42
k(j)	Demanda de Capital de la j-ésima firma	42	eqmarketx(j)	Equilibrio en el Mercado de Mercancías Compuestas	42
l(j)	Demanda de Trabajo de la j-ésima firma	42	eqmarketxdd(j)	Equilibrio en el Mercado Doméstico de Mercancías Domésticas	42
m(j)	Importaciones	42	eqpd(j)	Los Precios domésticos como un promedio ponderado de PWE y PDD	42
p(j)	Precio de las mercancías domésticas	42	eqprofit(j)	Condiciones de Beneficio Cero	42
pd(j)	Precios domésticos de las mercancías (precios de productor)	42	eqprofit(j)	Condiciones de Beneficio Cero en la Agregación de Armington	42
pdd(j)	Precios de las mercancías domésticas enviadas al mercado doméstico	42	eqxdd(j)	Demanda Doméstica por Mercancías Domésticas	42
pe(j)	Precio de las exportaciones en moneda local	42	eqxddsj(j)	Oferta de Mercancías Domésticas en el Mercado Doméstico	42
pm(j)	Precio de las importaciones en moneda local	42			
x(j)	Cantidad Total de Bien Compuesto	42			
xd(j)	Producción Doméstica Bruta	42			
xddd(j)	Demanda Doméstica por la Producción Doméstica	42			
xdds(j)	Oferta Doméstica de la Producción Doméstica	42			
Total Variables		731	Total Ecuaciones		726

Fuente: Autor