2.8. Los impuestos pigouvianos en mercados imperfectos

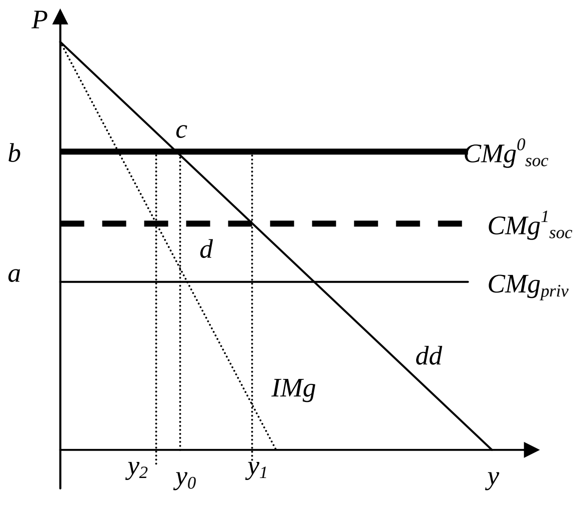
Los mercados imperfectos pueden afectar el impuesto pigouviano que se establece para las firmas. El objetivo de la siguiente sección es examinar el efecto de dos imperfecciones de mercado. El primer caso surge cuando hay un solo productor, es decir el productor es un monopolista. En el segundo caso, hay pocos contaminadores y, por lo tanto, pueden manipular el impuesto pigouviano que enfrentan.

2.8.1. Monopolista en el mercado del producto

Cuando el monopolista no genera ninguna externalidad, la ineficiencia que impone a la economía es producir una cantidad menor que la cantidad óptima. Ello incrementa los precios que los consumidores enfrentan. Una externalidad adiciona un problema pues el impuesto pigouviano reduce aún más la producción del monopolista. El monopolista está entonces sometiendo la sociedad a dos costos: (i) el costo de la externalidad; y (ii) el costo de restringir la producción.

La gráfica 2.9 ilustra un ejemplo del efecto de imponer un impuesto sobre un monopolista. Cuando el monopolista no enfrenta ningún impuesto pigouviano, su producción es igual a y_0. Los costos unitarios de producir y_0 para la sociedad son equivalentes a *AB* mientras los costos totales son iguales a *ABCD* e incluyen el costo total generado por la externalidad a la sociedad. La imposición de un impuesto pigouviano produce dos efectos. Por un lado, se aumentan los costos privados debido al incremento en uno de los insumos de producción (contaminación) y, de otro, se disminuyen los costos sociales como consecuencia de una contracción en la producción. La nueva curva de costo marginal social está representada por la línea gruesa punteada. La cantidad óptima de producción es y_1, pero el monopolista produce y_2. En este caso, se requieren dos instrumentos económicos. Un impuesto igual al costo marginal social de la contaminación y un subsidio equivalente a la diferencia entre el ingreso marginal y el costo marginal que incentive al monopolista a producir en el óptimo.

Gráfica 2.9. El monopolista y el impuesto pigouviano



Sin embargo, una autoridad ambiental no puede subsidiar el monopolista. El único instrumento disponible para la autoridad ambiental es el impuesto pigouviano. La autoridad ambiental puede definir un impuesto pigouviano que le permita corregir las dos distorsiones. El impuesto es entonces un *segundo-mejor*.

El siguiente modelo ilustra el mismo ejemplo de la gráfica 2.9. El planificador central busca maximizar los beneficios del monopolista y minimizar los daños sociales. Las variables del modelo son:

y: producto del monopolista

f(y): disponibilidad a pagar de los consumidores.

c(y,a): costos de producción de la firma.

a: nivel de actividades emprendidas para reducir directamente la contaminación (p.ej. instalar filtros).

D(s): daño marginal social.

s: emisiones.

El planificador central maximiza el excedente del consumidor y minimiza el costo de producción así como el daño social producido por las emisiones. La función de bienestar social que el planificador maximiza está definida por

$$W = \int_0^y f(y)dy - c(y,a) - D(s).$$

Suponga que *t* es el nivel del impuesto. En equilibrio, las emisiones dependen, por lo tanto, de la producción y la inversión en actividades emprendidas para reducir la contaminación.

$$s = s(a, y)$$

A medida que incrementa la producción aumentan las emisiones $\frac{\partial s}{\partial y} > 0$ e incrementos en actividades para controlar la contaminación reducen, en efecto, la contaminación, $\frac{\partial s}{\partial a} < 0$. De otro lado, la producción y la inversión en actividades para reducir la contaminación dependen del impuesto *a(t)* y *y(t)*.

Con el fin de establecer el impuesto adecuado, se debe establecer, en primer lugar, como cambia el bienestar de la sociedad con el impuesto y, en segundo lugar, cómo reacciona la firma frente al impuesto. Para esto, se calcula la diferencial total de la función de bienestar y se iguala a cero, con lo cual se garantiza que el bienestar de la sociedad se mantiene constante. En la diferencial total, se incluyen las condiciones de primer orden para también garantizar que la firma maximice beneficios.

Si se diferencia la función de bienestar social respecto al impuesto, una vez se ha alcanzado el equilibrio, se obtiene la siguiente expresión

$$f(y)\frac{\partial y}{\partial t} - \frac{\partial c}{\partial y}\frac{\partial y}{\partial t} - \frac{\partial c}{\partial a}\frac{\partial a}{\partial t} - \frac{dD}{ds}\frac{\partial s}{\partial y}\frac{\partial y}{\partial t} - \frac{dD}{ds}\frac{\partial s}{\partial a}\frac{\partial a}{\partial t} = 0$$

La interpretación de la diferencial total de la función de bienestar social permite establecer el impacto de un impuesto sobre el bienestar social. Cada componente significa:

- $f(y)\frac{\partial y}{\partial t}$: reducción en el excedente del consumidor por un cambio en la cantidad producida.
- $\frac{\partial c}{\partial y}\frac{\partial y}{\partial t}$: caída en los costos de producción por una disminución en la producción debido a una restricción de las emisiones.
- $\frac{\partial c}{\partial a}\frac{\partial a}{\partial t}$: aumento en los costos de producción por emprender actividades para reducir la contaminación.
- $\frac{dD}{ds}$: reducción en el daño marginal debido a un menor nivel de emisiones.
- $\frac{\partial s}{\partial y}\frac{\partial y}{\partial t}$: reducción en las emisiones por una caída en la cantidad producida.
- $\frac{\partial s}{\partial a}\frac{\partial a}{\partial t}$: reducción en las emisiones debido a una mayor inversión en actividades dirigidas a controlar las emisiones.

El monopolista busca, por su lado, maximizar los beneficios

$$\underset{y\geq 0}{Max}\ \ f(y)y-c(y,a)-ts$$

Las condiciones de primer orden son

$$f(y)+\frac{\partial f}{\partial y}y-\frac{\partial c(y,a)}{\partial y}-t\frac{\partial s}{\partial y}=0 \text{ para } y>0$$

$$-\frac{\partial c(y,a)}{\partial a}-t\frac{\partial s}{\partial a}=0 \text{ para } a>0$$

De la primera ecuación se obtiene la siguiente igualdad,

$$f(y)=\frac{\partial c(y,a)}{\partial y}+t\frac{\partial s}{\partial y}-\frac{\partial f}{\partial y}y\,.$$

De la segunda ecuación se obtiene la siguiente igualdad,

$$\frac{\partial c(y,a)}{\partial a}=-t\frac{\partial s}{\partial a}$$

Si se remplazan ambas igualdades en la diferencial total se obtiene,

$$\left[t\frac{\partial s}{\partial y}+\frac{\partial c}{\partial y}-y\frac{df}{dy}\right]\frac{\partial y}{\partial t}-\frac{\partial c}{\partial y}\frac{\partial y}{\partial t}+t\frac{\partial s}{\partial a}\frac{\partial a}{\partial t}-\frac{dD}{ds}\frac{\partial s}{\partial y}\frac{\partial y}{\partial t}-\frac{dD}{ds}\frac{\partial s}{\partial a}\frac{\partial a}{\partial t}=0$$

$$\left[t\frac{\partial s}{\partial y}-y\frac{df}{dy}\right]\frac{\partial y}{\partial t}+t\frac{\partial s}{\partial a}\frac{\partial a}{\partial t}-\frac{dD}{ds}\frac{\partial s}{\partial y}\frac{\partial y}{\partial t}-\frac{dD}{ds}\frac{\partial s}{\partial a}\frac{\partial a}{\partial t}=0$$

$$-y\frac{df}{dy}\frac{\partial y}{\partial t}+t\left[\frac{\partial s}{\partial y}\frac{dy}{dt}+\frac{\partial s}{\partial a}\frac{\partial a}{\partial t}\right]-\frac{dD}{ds}\left[\frac{\partial s}{\partial y}\frac{\partial y}{\partial t}+\frac{\partial s}{\partial a}\frac{\partial a}{\partial t}\right]=0$$

Cuando se despeja la expresión respecto al impuesto,

$$t\left[\frac{\partial s}{\partial y}\frac{dy}{dt}+\frac{\partial s}{\partial a}\frac{\partial a}{\partial t}\right]=y\frac{df}{dy}\frac{\partial y}{\partial t}+\frac{dD}{ds}\left[\frac{\partial s}{\partial y}\frac{\partial y}{\partial t}+\frac{\partial s}{\partial a}\frac{\partial a}{\partial t}\right]$$

$$t^*=\frac{y\frac{df}{dy}\frac{\partial y}{\partial t}}{\left[\frac{\partial s}{\partial y}\frac{\partial y}{\partial t}+\frac{\partial s}{\partial a}\frac{\partial a}{\partial t}\right]}+\frac{dD}{ds}$$

El segundo término de la ecuación $\left(\frac{\partial D}{\partial s}\right)$ es el daño marginal de las emisiones. El primer término se puede expresar como función de la elasticidad precio de la demanda. La elasticidad precio de la demanda es igual a

$$\frac{y}{f(y)}\frac{df}{dy}=-\frac{1}{|\eta|}$$

Si se multiplica y divide el numerador por *f(y)*

$$t^*=\frac{\frac{y}{f(y)}\frac{df}{dy}f(y)\frac{\partial y}{\partial t}}{\left[\frac{\partial s}{\partial y}\frac{\partial y}{\partial t}+\frac{\partial s}{\partial a}\frac{\partial a}{\partial t}\right]}+\frac{dD}{ds}$$

$$t^*=\frac{dD}{ds}-\frac{\frac{f(y)}{|\eta|}\frac{\partial y}{\partial t}}{\left[\frac{\partial s}{\partial y}\frac{\partial y}{\partial t}+\frac{\partial s}{\partial a}\frac{\partial a}{\partial t}\right]}$$

La condición de maximización del monopolista es igual a

$$CMg=P\left(1-\frac{1}{|\eta|}\right)$$

$$CMg=P-\frac{P}{|\eta|}$$

$$\frac{P}{|\eta|}=P-CMg$$

$$\frac{f(y)}{|\eta|}=P-CMg$$

Cuando se remplaza esta igualdad en la ecuación del impuesto, se obtiene

$$t^* = \frac{dD}{ds} - \frac{\left[P - CMg\right]\frac{\partial y}{\partial t}}{\left[\frac{\partial s}{\partial y}\frac{\partial y}{\partial t} + \frac{\partial s}{\partial a}\frac{\partial a}{\partial t}\right]}.$$

El denominador del segundo término de la expresión anterior es simplemente el efecto del impuesto sobre la cantidad total entonces se puede rescribir como

$$t^* = \frac{dD}{ds} - \frac{\left[P - CMg\right]\frac{\partial y}{\partial t}}{\frac{\partial s}{\partial t}}$$

$$t^* = \frac{dD}{ds} - \left[P - CMg\right]\frac{dy}{dt}\frac{\partial t}{\partial s}$$

$$t^* = \frac{dD}{ds} - \left[P - CMg\right]\frac{dy}{ds}$$

El primer término de la expresión es el impuesto pigouviano cuando no hay monopolio y se define como t_c. El impuesto pigouviano para el monopolista es entonces

$$t^* = t_c - \left[P - CMg\right]\frac{dy}{ds}$$

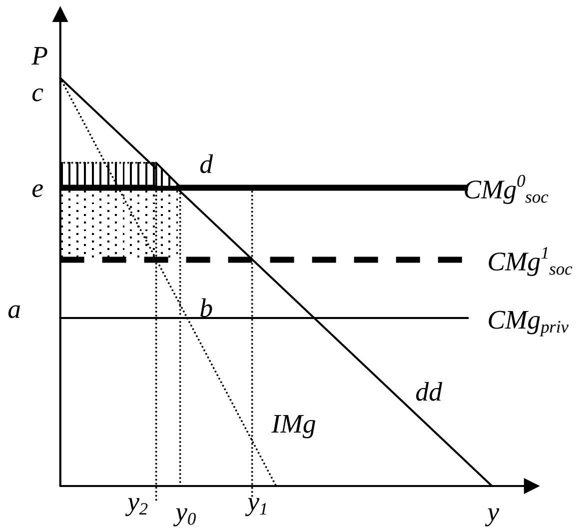
El segundo término se puede interpretar como la corrección por la diferencia entre el precio y el costo marginal multiplicado por el cambio en la producción debido a un cambio en las emisiones. Por consiguiente, el impuesto *segundo mejor* depende del daño marginal social, la elasticidad precio de la demanda y el costo de reducir emisiones.

Aunque técnicamente es posible derivar el impuesto, persisten las siguientes complicaciones:

- Es necesario poseer una gran cantidad de información: elasticidad precio de la demanda, daño marginal social y costo de reducir las emisiones.
- En términos políticos es un impuesto difícil de justificar.
- El impuesto para las oligopolistas, monopsonistas, oligopsonistas es aún más complicado de calcular.

¿Cuál es entonces el camino a seguir? Se puede adoptar una política de comando y control o evaluar la magnitud de las pérdidas en bienestar por establecer un impuesto. La Gráfica 2.10 muestra un ejemplo de las pérdidas de bienestar después de adoptar un impuesto pigouviano en una industria con estructura monopólica. En el momento inicial, el excedente del consumidor es el área *cde*. Las pérdidas por contaminación son el área *abde*. Una vez se define el impuesto pigouviano, la sociedad está ganando el área punteado por reducciones en la contaminación. De otro lado, la sociedad está perdiendo el área con líneas verticales por reducciones en el excedente del consumidor.

Gráfica 2.10. Pérdidas y ganancias en bienestar por el impuesto pigouviano.



El efecto neto de adoptar el impuesto pigouviano depende del tamaño de las dos áreas. Dicho tamaño depende, como es obvio, del mercado en el cual se está trabajando. Por ejemplo:

- Cuando el daño marginal de la contaminación es bajo y la curva de demanda es elástica, las perdidas por disminuciones en el excedente del consumidor pueden ser mayores que las ganancias en las reducciones del daño marginal.
- Cuando el daño marginal social es alto y la curva de demanda es inelástica, la ganancia por reducir contaminación puede ser mayores que las pérdidas por un menor excedente del consumidor.

2.8.1. Único contaminante

Otro ejemplo de imperfecciones de mercado es cuando hay un único agente generador de contaminación que puede, por lo tanto, manipular el precio del impuesto para alcanzar dos fines: (i) disminuir el precio del impuesto; y (ii) aumentar el precio del impuesto con el fin de reducir la competitividad de otras firmas.

El modelo siguiente solo es válido para impuestos pigouvianos que varían de acuerdo a la curva de daño marginal social. Para determinar el efecto de un solo contaminador, es necesario recurrir a las condiciones de Kuhn-Tucker derivadas en el modelo de equilibrio general (Sección 2.2). Según el modelo de equilibrio general, las condiciones de primer orden para alcanzar un óptimo de pareto del nivel de emisiones son

$$\frac{\partial U^1}{\partial Z} + \sum_{j=2}^{m} \lambda_j \frac{\partial U^j}{\partial Z} - \mu_{\bar{k}} \frac{\partial f^{\bar{k}}}{\partial s_{\bar{k}}} - \sum_{k=1}^{h} \mu_k \frac{\partial f^k}{\partial Z} = 0$$

donde h representa el número de firmas, m el número de individuos, μ_k es el precio sombra para la función de producción y s_k es la emisión de la firma k. En este modelo, se asume que la firma $\bar{k}$ es la única firma que está generando la externalidad. Las otras firmas solo sufren los efectos de la contaminación, pero no la generan. Si se define D como los daños marginales de la contaminación entonces,

$$D=\frac{\partial U^{1}}{\partial Z}+\sum_{j=2}^{m}\lambda_{j}\frac{\partial U^{j}}{\partial Z}-\sum_{k=1}^{h}\mu_{k}\frac{\partial f^{k}}{\partial Z}$$

El óptimo de Pareto se alcanza cuando

$$D=\mu_{\bar{k}}\frac{\partial f^{\bar{k}}}{\partial s_{\bar{k}}}.$$

El impuesto pigouviano es igual a

$$t=\frac{\partial U^{1}}{\partial Z}+\sum_{j=2}^{m}\lambda_{j}\frac{\partial U^{j}}{\partial Z}-\sum_{k=1}^{h}\mu_{k}\frac{\partial f^{k}}{\partial Z}$$

La función de maximización de beneficios de la firma que contamina está dada por

$$\pi=\max_{y_{ik}}\sum_{i=1}^{n}p_{i}y_{i\bar{k}}-\beta_{\bar{k}}f^{\bar{k}}\left(y_{1\bar{k}},y_{2\bar{k}},\ldots,y_{n\bar{k}},s_{\bar{k}}\right)-ts_{\bar{k}}$$

Las condiciones de primer orden respecto al nivel de emisiones son iguales a

$$\frac{\partial\pi}{\partial s_{\bar{k}}}=-\beta_{\bar{k}}\frac{\partial f^{\bar{k}}\left(y_{1\bar{k}},y_{2\bar{k}},\ldots,y_{n\bar{k}},s_{\bar{k}}\right)}{\partial s_{\bar{k}}}-t-\frac{\partial t}{\partial s_{\bar{k}}}s_{\bar{k}}=0$$

¿Qué pasa en este caso? Las condiciones de primer orden para la firma contaminadora son diferentes a aquellas del óptimo de Pareto. Las condiciones de primer orden de la firma tienen un término adicional, $\frac{\partial t}{\partial s_{\bar{k}}}s_{\bar{k}}$, que no está contemplado en las condiciones de Pareto. ¿Qué significado tiene este término? Las emisiones de la firma *k* generan una curva de daño marginal. Si antes de cualquier regulación las emisiones son s_{k}^{0}, en el momento de adoptar el impuesto, la firma puede influenciar el nivel del impuesto ya que es la única contaminadora. Por consiguiente, la firma escoge la porción de la curva de daño marginal en donde se ubica de acuerdo a sus objetivos.

Cuando $\frac{\partial t}{\partial s_{k}}=0$, es decir que la firma no tiene capacidad para manipular el nivel del impuesto, dicho nivel coincide con el nivel del impuesto óptimo.

Cuando $\frac{\partial t}{\partial s_{k}}>0$,

$$-\beta_{\bar{k}}\frac{\partial f^{\bar{k}}}{\partial s_{\bar{k}}}-t-\frac{\partial t}{\partial s_{\bar{k}}}s_{\bar{k}}<-\beta_{k}\frac{\partial f^{k}}{\partial s_{k}}-t\,.$$

Dado que *t>0* y $\frac{\partial t}{\partial s_{\bar{k}}}s_{\bar{k}}>0$

$$-\beta_{\bar{k}}\frac{\partial f^{\bar{k}}}{\partial s_{\bar{k}}}>-\beta_{k}\frac{\partial f^{k}}{\partial s_{k}}\,.$$

Como $\frac{\partial^2 f^k}{\partial s_k^2} \leq 0$, $s_k^P < s_k^0$. El contaminador único se ubica en un nivel de emisiones menor que el nivel óptimo.

2.9. Impuestos Pigouvianos: El Argumento del Doble Dividendo[1].

La creación de nuevos impuestos siempre ha estado en el centro de la polémica tanto política como teórica. Los impuestos son un mal necesario para mantener el funcionamiento del Estado. Sin embargo, se ha demostrado que los impuestos modifican el comportamiento de los individuos y son una talanquera para el funcionamiento adecuado de la economía. En el campo teórico, se ha demostrado que:

- Los impuestos sobre el trabajo desincentivan el esfuerzo;
- Los impuestos sobre el ahorro reducen el capital disponible para la inversión;
- Los impuestos sobre la inversión desincentivan a los agentes a tomar riesgos; e
- Impuestos como el IVA son regresivos y afectan a las clases más desfavorecidas.

Todas estas distorsiones generadas por los impuestos reducen el bienestar. Desde el punto de vista político, crear nuevos impuestos tiene altos costos, sin embargo, un déficit fiscal exagerado tiene consecuencias graves sobre la economía como la recesión y el incremento en las tasas de interés.

Durante mucho tiempo, los economistas ambientales argumentaron que los impuestos ambientales no imponían distorsiones en la economía. Más aún, los impuestos pigouvianos se crean en primera instancia para corregir una distorsión en la economía. Al crear impuestos ambientales se internalizan las externalidades y es posible, por consiguiente, alcanzar un óptimo de Pareto. Además, argumentan los economistas, los impuestos ambientales generan ingresos adicionales que pueden ser utilizados para eliminar o reducir otros impuestos que distorsionan la economía. Esto es lo que los economistas ambientales denominan el **doble dividendo**.

Sin embargo, investigaciones recientes han demostrado que adoptar impuestos ambientales en una economía ya distorsionada genera aun más distorsiones. Dicho argumento no necesariamente descarta de plano el uso de impuestos para controlar la contaminación, pero, es necesario, antes de adoptar un impuesto ambiental, conocer el contexto en el cual se va a regular.

El propósito del artículo de Bovenberg y De Mooij es demostrar que, cuando hay impuestos que distorsionan la economía, establecer un impuesto ambiental no conduce necesariamente al óptimo. Se pueden producir dos efectos:

- El impuesto óptimo es menor que la sumatoria de los daños marginales.
- A pesar de destinar los recursos del impuesto ambiental para eliminar otros impuestos distorsionantes, la posible interdependencia entre el impuesto ambiental y otros impuestos puede conducir a una caída final en el bienestar.

El regulador debe entonces considerar las condiciones iniciales antes de decidir si se puede establecer un impuesto ambiental. Por un lado, si hay una regulación ambiental de comando y control, el efecto de un impuesto no es necesariamente catastrófico. Las

---

[1] Esta sección está basada en los artículos: Bovenberg, A.L. y de Mooij. R.A. (1994) "Environmental Levies and Distortionary Taxation," *American Economic Review*:1085-1089 y A. L. Bovenberg and L. Goulder (1996) "Optimal Environmental Taxation in the Presence of Other Taxes: General-Equilibrium Analyses," A*merican Economic Review*, September, 985-1000.

regulaciones de comando y control ya han distorsionado la economía puesto que restringen la producción e incrementan sus costos. De otro lado, si no hay una regulación ambiental, es necesario entonces comparar los costos y beneficios relevantes que se generan como consecuencia del impuesto. Las otras regulaciones ambientales también generan distorsiones entonces es necesario escoger el instrumento que menos distorsiones genera.

En la práctica, los 19 países de la OECD han creado impuestos ambientales. Los impuestos más comunes se crearon para controlar la disposición de residuos peligrosos y el ruido de los aviones. Dichos impuestos están definidos directamente sobre la externalidad generada. De otro lado, hay bastantes impuestos indirectos en los cuales no se graba directamente la externalidad generada, pero si actividades relacionadas con la externalidad (gasolina, energía, fertilizantes). Por ejemplo, en Colombia la sobretasa a la gasolina no se definió con objetivos ambientales sino como un instrumento para generar recursos fiscales. En Europa, hay una tendencia de disminuir impuestos sobre el capital y las rentas e incrementar impuestos como los ambientales.

Para evaluar el efecto de un impuesto ambiental sobre una economía con distorsiones ocasionadas por otros impuestos, se deriva a continuación un modelo desarrollado por Bovenberg y De Mooj en 1994.

El modelo se basa en una tecnología de producción lineal donde se utiliza el trabajo como único insumo de producción para producir un bien público, un bien producido con tecnologías limpias, es decir que no contamina el ambiente, y un bien producido con tecnologías contaminantes. La frontera de producción está dada por

$$hNL = NC + ND + G$$

L: trabajo.

h: productividad del trabajo.

G: bien público.

C: bienes producidos con tecnologías limpias

D: bienes producidos con tecnologías contaminantes.

N: número de hogares en la economía.

La función de utilidad en los hogares está definida por

$$U = U(C, D, V, G, E)$$

donde

E: calidad ambiental

V: ocio.

La función de utilidad contiene los diferentes aspectos de la economía: (i) consumo de bienes privados (C,D); (ii) consumo de bienes públicos (G,E) y el mercado laboral (V)

La externalidad se genera con la producción del bien que utiliza tecnologías contaminantes. Los individuos, cuando consumen este bien, no están conscientes del efecto nocivo de su producción, pese a estar afectados por la externalidad. La calidad ambiental está entonces relacionada con el consumo del bien contaminante

$$E = e(ND)$$

donde $\frac{\partial e(ND)}{\partial ND} < 0$.

Antes de construir la restricción de presupuesto, se definen dos impuestos:

t_l : impuesto ad-valorem sobre el ingreso laboral.

t_d: impuesto ambiental sobre el consumo de los bienes producidos con tecnologías contaminantes.

Se asume que el tiempo total disponible está normalizado de tal forma que la restricción de tiempo es

$$V + L = 1 .$$

Si se incorpora la restricción de tiempo en la restricción de presupuesto, esta última está dada por:

$$C + (1 + t_d)D = h(1 - t_l)(1 - V)$$

De otro lado, el Estado percibe ingresos de:

- $t_d ND$: impuesto recaudado del consumo del bien producido con tecnologías contaminantes; y
- $t_l hNL$: la cantidad de horas trabajadas en la economía.

Los egresos del Estado se generan por proveer el bien público *G*. La restricción de presupuesto del Estado está entonces definida por

$$G = t_d ND + t_l hNL .$$

El objetivo del modelo es establecer el efecto de cambios en los dos impuestos (el impuesto ambiental y el impuesto laboral) sobre el bienestar de la sociedad. Para evaluar entonces una sustitución de impuesto laboral por impuesto ambiental, se realiza una diferencial total de la función de utilidad de los hogares y se mantienen constantes los ingresos del gobierno (*dG=0*). Asimismo, se establece si, después de la introducción de un impuesto ambiental, el cambio en bienestar es neutro o si, por el contrario, el bienestar estaría afectado negativamente por el nuevo impuesto. La diferencial total de la función de utilidad es igual a

$$dU = \frac{\partial U}{\partial C} dC + \frac{\partial U}{\partial D} dD + \frac{\partial U}{\partial E}\frac{de}{dND} NdD - \frac{\partial U}{\partial L} dL$$ [2]

De otro lado, el proceso de maximización del consumidor está dado por

$$\begin{aligned} &\underset{C,D,L}{Max}\ U(C,D,V,G,E) \\ &s.a\ \ C + (1 + t_d)D = h(1 - t_l)L. \end{aligned}$$

El lagrangiano es igual

---

[2] La función de utilidad está definida por $U(C,D,V,G,E)$. Si se remplaza la restricción de tiempo en la función de utilidad se obtiene $U(C,D,1-L,G,E)$.

$$L = U(C, D, V, G, E) + \lambda[h(1-t_l)L - C - (1+t_d)D].$$

Para $L>0$, $C>0$ y $D>0$, las condiciones de primer orden son iguales a

$$\frac{\partial L}{\partial C} = \frac{\partial U}{\partial C} - \lambda = 0.$$

$$\frac{\partial L}{\partial D} = \frac{\partial U}{\partial D} - \lambda(1+t_d) = 0$$

$$\frac{\partial L}{\partial L} = -\frac{\partial U}{\partial L} + \lambda h(1-t_l) = 0.$$

Las tres condiciones de primer orden se pueden reescribir como

$$\frac{\partial U}{\partial C} = \lambda.$$

$$\frac{\partial U}{\partial D} = \lambda(1+t_d)$$

$$\frac{\partial U}{\partial L} = \lambda h(1-t_l).$$

Estas igualdades se remplazan en la diferencial total de la función de utilidad

$$dU = \lambda dC + \lambda(1+t_d)dD - \lambda h(1-t_l)dL + \frac{\partial U}{\partial E}\frac{de}{dND}NdD$$

Esta diferencial se puede escribir como

$$dU = \lambda dC + \lambda dD + \lambda t_d dD - \lambda h dL + \lambda h t_l dL + \frac{\partial U}{\partial E}\frac{de}{dND}NdD$$

Si se reagrupan algunos términos,

$$dU = \lambda[dC + dD - hdL] + \lambda t_d dD + \lambda h t_l dL + \frac{\partial U}{\partial E}\frac{de}{dND}NdD$$

$$\frac{dU}{\lambda} = [dC + dD - hdL] + t_d dD + h t_l dL + \frac{\partial U}{\partial E}\frac{de}{dND}\frac{NdD}{\lambda}$$

El término $\frac{dU}{\lambda}$ representa el cambio en bienestar, en términos monetarios, como consecuencia de un sistema impositivo que comprende un impuesto ambiental y un impuesto laboral.

Dado que se asumió un cambio neutral para el Estado en términos de ingresos totales[3] recaudados ($dG=0$), es necesario derivar la diferencia total para la tecnología de producción

$$NdC + NdD + dG - hNdL = 0.$$

[3] Un cambio neutral implica que los incrementos en ingresos derivados del impuesto ambiental se compensan con caídas en el impuesto laboral de tal manera que los ingresos permanecen iguales.

Como $dG=0$, la diferencial total de la tecnología de producción es

$$NdC + NdD - hNdL = 0$$

$$dC + dD - hdL = 0\,.$$

Si se remplaza esta expresión en la diferencial total de la función de utilidad, se obtiene

$$\frac{dU}{\lambda} = t_d dD + ht_l dL + \frac{\partial U}{\partial E}\frac{de}{dND}\frac{NdD}{\lambda}$$

$$\frac{dU}{\lambda} = ht_l dL + \left[t_d + N\frac{\partial U}{\partial E}\frac{de}{dND}\frac{1}{\lambda}\right]dD$$

$$\frac{dU}{\lambda} = ht_l dL + \left[t_d - N\frac{\partial U}{\partial E}\left(-\frac{de}{dND}\right)\frac{1}{\lambda}\right]dD\,.$$

El término λ representa la utilidad marginal del ingreso. El primer término $(ht_l dL)$ representa la distorsión generada por el impuesto laboral y el segundo término $\left[t_d - N\frac{\partial U}{\partial E}\left(-\frac{de}{dND}\right)\frac{1}{\lambda}\right]$ representa la distorsión generada por el impuesto ambiental. Este término representa los costos y beneficios de un incremento en el consumo del bien producido con tecnología contaminante. Los beneficios provienen de un incremento en los impuestos recaudados por el consumo de este bien (t_d) mientras los costos provienen de un mayor daño marginal causado por una mayor cantidad de la externalidad $\left[N\frac{\partial U}{\partial E}\left(-\frac{de}{dND}\right)\frac{1}{\lambda}\right]dD$.

Esta ecuación permite establecer como cambios en los dos impuestos afectan el bienestar de los individuos $\left(\frac{dU}{\lambda}\right)$. Cuando no hay necesidad de recaudar impuestos laborales, el valor óptimo para el impuesto ambiental es el impuesto Pigouviano de tal forma que

$$t_d = N\frac{\partial U}{\partial E}\left(-\frac{de}{dND}\right)\frac{1}{\lambda}\,.$$

¿Qué sucede con el bienestar de los individuos cuando se establece un impuesto Pigouviano tradicional? El impuesto Pigouviano es igual al daño marginal causado por la externalidad, es decir

$$t_d = N\frac{\partial U}{\partial E}\left(-\frac{de}{dND}\right)\frac{1}{\lambda}\,.$$

Esto significa que los costos y beneficios generados por el impuesto ambiental se compensan. Ello implica que los beneficios por un menor daño marginal se compensan por los costos de un mayor recaudo de impuestos y, por consiguiente, el bienestar de la sociedad no se afecta cuando se adopta un impuesto ambiental.

De otro lado, si se adopta un impuesto ambiental igual al impuesto pigouviano y, además, se grava el trabajo, los cambios en bienestar para la sociedad de tener un impuesto son

$$\frac{dU}{\lambda} = ht_l dL \, .$$

Dichos cambios son diferentes a cero y, por ende, distorsionan la economía.

Por lo tanto, se está distorsionando la economía al adoptar los dos tipos de impuestos. Si se quiere adoptar una combinación de impuestos laborales y ambientales con un efecto neutro sobre el bienestar, es decir

$$\frac{dU}{\lambda} = ht_l dL + \left[t_d + N \frac{\partial U}{\partial E} \frac{de}{dND} \frac{1}{\lambda} \right] dD = 0 \, ,$$

El impuesto ambiental debe ser entonces diferente al impuesto Pigouviano.

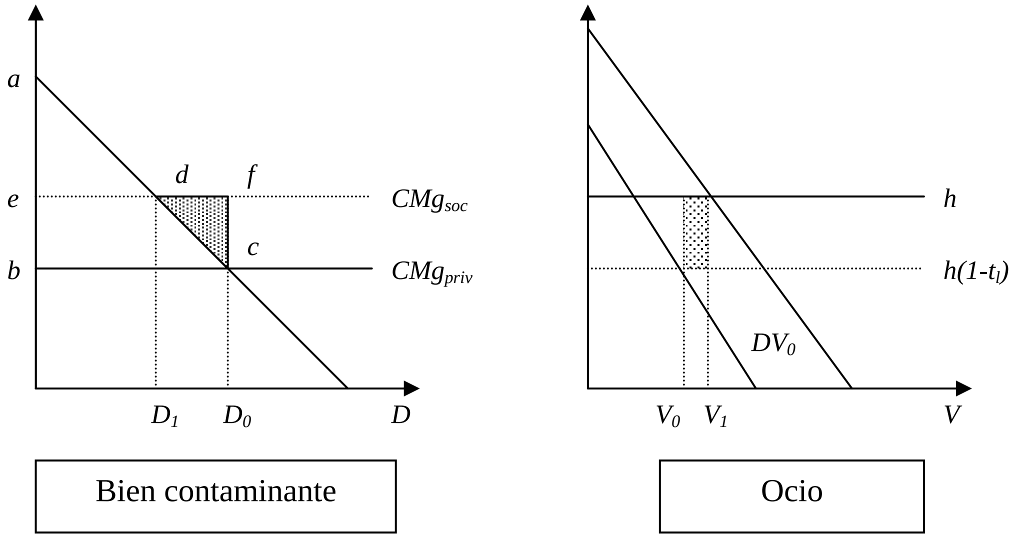
$$t_d dD = N \frac{\partial U}{\partial E} \left(- \frac{de}{dND} \right) \frac{1}{\lambda} dD - ht_l dL$$

$$t_d = N \frac{\partial U}{\partial E} \left(- \frac{de}{dND} \right) \frac{1}{\lambda} - ht_l \frac{dL}{dD} \, .$$

La complementariedad o sustitución entre *L* y *D* determinan el signo del segundo componente del impuesto. La Gráfica 2.11 ilustra el resultado de incrementar el impuesto ambiental cuando los dos impuestos están interrelacionados. La gráfica de la izquierda representa el mercado del bien producido con una tecnología contaminante y la gráfica de la derecha muestra la demanda por ocio. Antes de adoptar un impuesto ambiental la demanda por el bien contaminador es igual a D_0. El excedente del consumidor por el consumo del bien contaminador es igual al área *ABC*. Los daños marginales de la contaminación corresponden a la diferencia entre la curva de costo marginal privado y costo marginal social que equivale a (δ). Los daños totales generados por la producción del bien contaminador son el área *BCEF*. Si se adopta un impuesto Pigouviano igual a $1+\delta$, la demanda por el bien contaminador se reduce a D_1. El excedente del consumidor cae y equivale al área *AED* mientras la reducción en los daños marginales es igual al área *BCEF*. Los beneficios sociales por el impuesto pigouviano están representados por el área punteada *DFC*.

De otro lado, la demanda inicial por ocio está dada por el punto donde se cruza $h(1-t_l)$ con la demanda por ocio inicial (DV_0). Si el bien contaminador y el ocio son bienes sustitutos, al adoptar un impuesto ambiental, la demanda por ocio aumenta, es decir que el consumidor demanda V_1 de ocio y, por lo tanto, trabaja menos. Esto implica que los ingresos que genera este impuesto se disminuyen por el área punteada. Esta pérdida en ingresos se puede compensar cuando las pérdidas por el impuesto laboral disminuyen al reducir dicho impuesto.

Gráfica 2.11. El efecto de incrementar el impuesto ambiental



En un artículo posterior, Bovenberg y Goulder (1996) extienden el modelo de equilibrio general analizado en los párrafos anteriores y lo aplican a un modelo de equilibrio general para la economía de los Estados Unidos. El nuevo modelo es muy similar al anterior; por lo tanto, no se deriva en esta sección, solamente se define el modelo y explican sus resultados. La principal diferencia con el modelo anterior es que el trabajo no es el único insumo de la economía. Se introducen dos insumos intermedios: un insumo "limpio" x_c y un insumo "contaminador" x_d. La función de producción de esta economía, que exhibe retornos constantes a escala, está dada por

$$F(L, x_d, x_c)$$

Por consiguiente, la frontera de producción está definida por

$$F(L, x_d, x_c) = G + x_c + x_d + C_c + C_d .$$

La función de utilidad de un hogar representativo está compuesta por la utilidad del consumo de bienes privados (H) que es separable del ocio, l, y de los dos bienes públicos - la calidad ambiental, Q, y otro bien público, G. El hogar enfrenta la siguiente restricción de presupuesto

$$C_c + \left(1 + t_d^c\right)C_d = \left(1 - t_l\right)wL$$

donde t_d^c es el impuesto sobre el bien contaminador y t_l es el impuesto laboral. El salario después de impuesto está definido como

$$w_N = (1 - t_l)w$$

El hogar maximiza entonces su función de utilidad sujeto a la restricción de presupuesto y tiempo

$$\underset{C_c, C_d, l}{Max}\ U\left(N\left(H\left(C_c, C_d\right), l\right), G, Q\right)$$

$$\text{sujeto a } C_c + \left(1 + t_d^c\right)C_d = \left(1 - t_l\right)wL$$

Del proceso de maximización del hogar se obtiene la siguiente función de utilidad indirecta

$$u\left(V(w_N, t_d^c), G, Q\right).$$

El Estado, por su parte, invierte en la provisión del bien público y recauda recursos por la gravación de impuestos laborales, ambientales e impuestos sobre los insumos intermedios. La restricción de presupuesto del Estado es igual a

$$G = t_c^x x_c + t_d^x x_d + t_d^c C_d + t_l wL \ .$$

La calidad ambiental se deteriora con un incremento en el consumo del bien contaminador o en el uso del insumo contaminante $Q = q\left(x_d, C_D\right)$.

El Estado maximiza la función de utilidad de los hogares sujeto a su restricción de presupuesto

$$u\left(V\left(w_N, t_d^c\right), G, q\left(x_d, C_d\right)\right) + \mu\left(t_c^x x_c + t_d^x x_d + t_d^c C_d + t_l wL - G\right).$$

Los impuestos ambientales óptimos para el insumo contaminante y el bien contaminador son respectivamente

$$t_d^x = \left[\frac{\frac{\partial U}{\partial Q}\left(-\frac{\partial q}{\partial x_d}\right)}{\frac{\partial U}{\partial C_c}}\right]\frac{1}{\eta}$$

$$t_d^c = \left[\frac{\frac{\partial U}{\partial Q}\left(-\frac{\partial q}{\partial C_d}\right)}{\frac{\partial U}{\partial C_c}}\right]\frac{1}{\eta}$$

El término incluido en los paréntesis de los dos impuestos representa el impuesto Pigouviano cuando no hay distorsiones previas en la economía. El término η representa el cambio en el impuesto Pigouviano cuando hay distorsiones previas en la economía y está definido por

$$\eta = \left[1 - \frac{t_l}{1 - t_l}\theta\right]^{-1}$$

donde θ es la elasticidad de la oferta laboral. El impuesto ambiental es menor que el impuesto pigouviano cuando la elasticidad de la oferta es positiva. Cuando hay una economía distorsionada, un impuesto ambiental profundiza las distorsiones del impuesto laboral porque, al reducir el salario, cae la oferta laboral y se erosiona la base gravable.

Un modelo aún más general que el expuesto anteriormente es aplicado para realizar simulaciones en la economía americana. El modelo asume lo siguiente:

- Define 13 sectores industriales y 17 bienes de consumo.

- Adopta funciones de producción CES.
- Las firmas escogen la cantidad de insumos e inversión para maximizar el "valor de la firma".
- Para las decisiones de inversión se tiene en cuenta los costos de ajuste.
- La maximización de utilidad del hogar se realiza en un contexto intertemporal.
- El consumo total del hogar es un agregado de los 17 bienes de consumo.
- Los insumos intermedios y los bienes de consumo importado son sustitutos imperfectos de los bienes domésticos.
- Los precios de las importaciones son exógenos.
- La demanda de exportaciones depende del precio internacional de los bienes y del ingreso mundial.
- La tasa de cambio se ajusta de acuerdo a la balanza comercial cada periodo.
- Los instrumentos fiscales del gobierno son: los impuestos sobre la energía, el producto final, la renta, la propiedad, las ventas así como los impuestos laborales y sobre el ingreso.
- Los precios domésticos son endógenos.

El modelo calcula equilibrios de la economía desde 1990 hasta 2070 y simula el efecto de establecer un impuesto sobre el carbono, es decir un impuesto sobre la proporción de carbono en los combustibles fósiles. Los primeros resultados del modelo muestran que un impuesto al carbono de US$11 por tonelada reducen las emisiones en ocho por ciento. El costo marginal de la reducción es US$75 por tonelada cuando los recaudos del impuesto al carbono se devuelven con un subsidio de suma fija, es decir un subsidio que no modifica el comportamiento, y US$25 cuando se usan estos recaudos para reducir las tasas marginales de impuestos a los hogares.

La Tabla 2 del artículo de Bovenberg and Goulder estima los impuestos ambientales óptimos cuando hay distorsiones en la economía. Los autores encuentran que incluso para algunos niveles de daño marginal el impuesto óptimo alcanza a ser negativo, cuando se utiliza su recaudo para devolver esta suma a los hogares de manera lump-sum. En todos los casos, el impuesto ambiental óptimo es menor que el impuesto pigouviano.