

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENEIRÍA INDUSTRIAL



APUNTE
IN519 ECONOMÍA DEL
MEDIO AMBIENTE

Raúl O’Ryan G.
Departamento de Ingeniería Industrial
Universidad de Chile

Mayo 2000

1. LA ECONOMÍA Y EL MEDIO AMBIENTE

En este capítulo se introduce el tema de la gestión del medio ambiente como un problema económico, en particular como un problema de política pública. Se comienza por presentar la relación entre el sistema económico y el medio ambiente. Luego se presentan los criterios normativos para la toma de decisiones que afectan el Medio Ambiente. Estos criterios proveen una base para identificar la naturaleza y diversidad de los problemas ambientales. Con ello se tienen los fundamentos para diseñar políticas eficaces. Finalmente se discute el tema de desarrollo sustentable.

1.1. El Sistema Económico y el Medio Ambiente

En economía el medio ambiente se considera un "activo compuesto" que provee de una variedad de "servicios". Es un activo especial, por cierto, ya que provee de los sistemas de apoyo a la vida que permiten nuestra existencia. Sin perjuicio de ello, es un activo y, como tal se desea evitar que se deprecie de valor de una forma inadecuada de modo que continúe proveyendo de los servicios estéticos y fundamentales para la vida.

El Medio Ambiente provee a la economía con materias primas que se transforman en productos, por medio del proceso de producción, y de energía. En última instancia, estas materias primas y energía vuelven al ambiente como residuos (ver la figura 1). Estos residuos pueden, de ser excesivos, superar la capacidad asimilativa del ambiente y reducir el valor del activo.

Por otra parte, si extraigo recursos en exceso, puedo comprometer el goce de estos recursos para generaciones futuras. Esto sugiere que debe haber una tasa óptima de explotación.

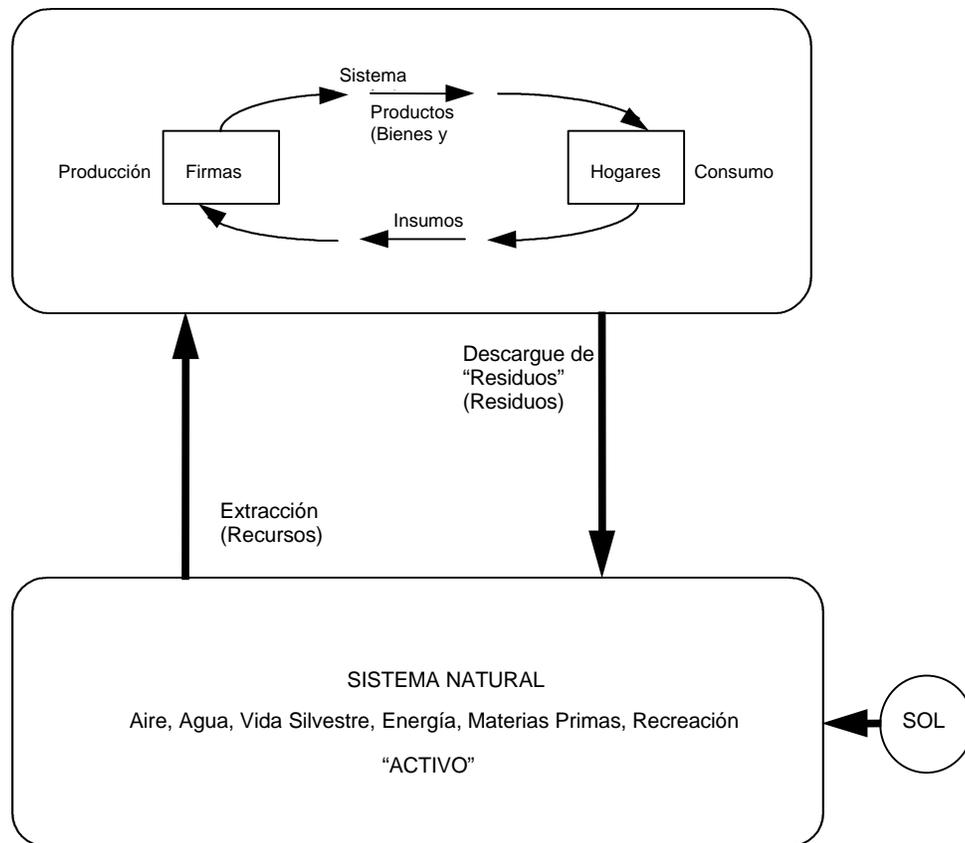


Figura 1.1

El Medio Ambiente también provee servicios directamente a los consumidores. El aire que respiramos, la nutrición que recibimos del alimento y del agua, y la protección de nuestros hogares y ropa son beneficios que se derivan directa o indirectamente del Medio Ambiente. Más aún, el Medio Ambiente provee de servicios recreativos y estéticos tales como el "rafting", "camping", belleza de una puesta de sol, etc., para los cuales no hay sustitutos. En síntesis ofrece las siguientes funciones y servicios:

1. Una base de Recursos Naturales (renovables y no renovables)
2. Un conjunto de Bienes Naturales (belleza escénica, recursos recreativos)
3. Una capacidad asimilativa
4. Un sistema de soporte para la vida

El análisis económico puede usarse para aumentar nuestra comprensión de la relación entre sistema económico y el ambiente. Dos tipos diferentes de análisis económico pueden aplicarse:

1. Economía Positiva : describe qué es, o fue, o qué será
2. Economía Normativa : que se relaciona con lo que debiera ser

La economía positiva permite describir los flujos de servicios y describe cómo esos flujos son afectados por un cambio en el sistema. Por ejemplo, si aumentan las inversiones, en el sector minero, la economía positiva puede establecer el potencial impacto sobre el recurso agua y aire; además del impacto sobre las firmas y hogares que componen la sociedad.

Pero la economía positiva, no permite decir nada acerca de la optimalidad de esos flujos. Este juicio debe provenir de la Economía Normativa. ¿Es deseable el crecimiento del sector minero? ¿Qué formas debe tener este crecimiento? ¿Cómo se incorpora el impacto de este crecimiento sobre el medio ambiente en el proceso de toma de decisiones?.

La esencia del enfoque normativo es maximizar el valor del activo. Por existir, los humanos no pueden evitar afectar el Medio Ambiente. El tema por tanto no es si el hombre debiera impactar, si no definir -cuando se pueda- el nivel óptimo del impacto. Dicho de otra manera, las decisiones que se toman y que afectan el Medio Ambiente deben tomarse considerando algún criterio que permita

establecer si esta decisión es la mejor, considerando las diversas alternativas (entre las que está hacer nada).

Si los recursos ambientales se están haciendo escasos, entonces el análisis económico puede jugar un rol en identificar estrategias para (mitigar) o reducir alguna de las consecuencias de este proceso. Se requiere un Equilibrio entre el interés de quienes desean usar el Medio Ambiente en una forma directa (como fuente de recursos para depositar desechos) y quienes desean gozar de él ahora, usándolo de manera indirecta: gozar de un bello paisaje o bosque. Más aún las necesidades de generaciones presentes deben pesarse o equilibrarse con las de las futuras generaciones.

Para ello el enfoque normativo intenta maximizar el valor del activo ambiental creando un equilibrio entre su preservación y su uso. Por ejemplo, debe responder preguntas tales como: ¿Se debe contaminar o preservar el aire puro, preservar o usar un bosque?, ¿Cómo se comparan los costos y beneficios en cada caso?

Pero para definir este equilibrio, es necesario valorar los flujos de servicios obtenidos, incluyendo los efectos negativos de usar el ambiente como un receptáculo para los residuos. El enfoque económico - que es el que desarrollamos en este apunte- es decididamente antropocéntrico, vale decir centrado en el hombre: Los efectos ecológicos se valoran - en última instancia- en términos de su impacto sobre la humanidad.

1.2. CRITERIOS NORMATIVOS PARA LA TOMA DE DECISIONES

Debido a que es inevitable tomar decisiones que afectan los activos ambientales, se requiere algún criterio para juzgar la deseabilidad de cada opción. Se verán a continuación tres criterios: uno, que permite juzgar la asignación de recursos en un instante del tiempo, otro que permite examinar

decisiones independientes en varios períodos y finalmente un criterio que permite incorporar otras generaciones aparte de la actual.

La pregunta a abordar entonces es: ¿Cómo se decide entre las diversas alternativas, incluso habiendo acuerdo en el valor de los servicios ambientales?.

a) Eficiencia Estática

El principal criterio normativo para elegir entre diversas asignaciones de recursos en un momento del tiempo se denomina eficiencia estática o simplemente eficiencia. Este criterio sugiere que una asignación de recursos es eficiente si el beneficio neto del uso del recurso se maximiza con esa asignación. El beneficio neto es simplemente el exceso de beneficios sobre costos que resultan con tal asignación.

¿Pero cómo se miden los beneficios y costos?.

i) Los beneficios pueden obtenerse de la curva de demanda

La curva de demanda mide la cantidad de un bien determinado que la gente estaría dispuesta a comprar a cada nivel de precios. Cada punto de la curva representa lo que la persona está dispuesta a pagar por la última unidad del bien que consume la disposición a pagar total por una cantidad q de un bien es el área bajo la curva de demanda hasta q (área achurada de la figura 1.2). Así se definen los beneficios totales de consumir q como la disposición a pagar total por la cantidad q .

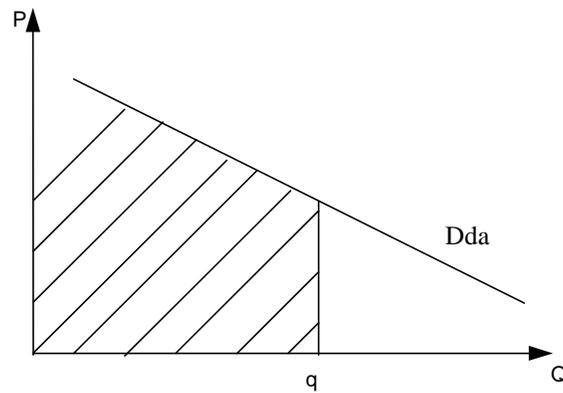


Figura 1.2.: Demanda por Biodiversidad

- ii) Los costos por su parte pueden obtenerse a partir de información de la firma. Al asumir que los costos fijos son cero (supuesto que no introduce mayores distorsiones), los costos totales de producir q pueden obtenerse como el área bajo la curva de costos marginales hasta q , como se aprecia en la figura 1.3.

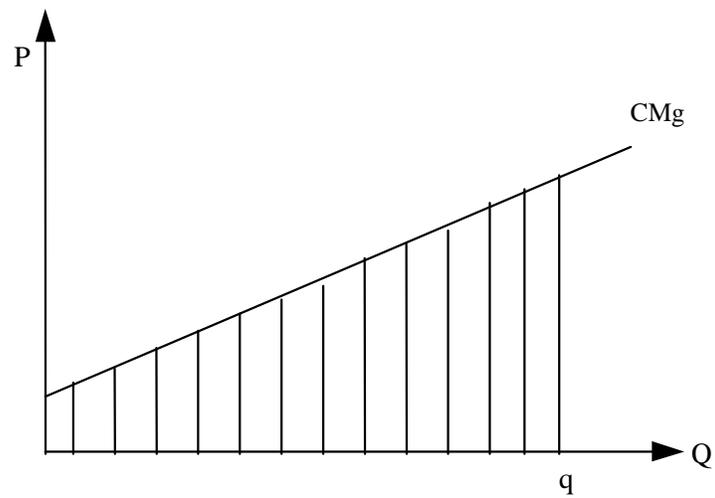


Figura 1.3: Oferta de Biodiversidad

Estos costos son costos de oportunidad. Los recursos no son gratis si tienen un uso alternativo. Por ejemplo un río puede ser apropiado para rafting o para generar hidroelectricidad. Si se opta por no desarrollar el recurso y dejarlo para rafting argumentando que el río es un recurso gratuito de la naturaleza y por tanto, que no hay costos para la sociedad, se cae en una falacia económica. ¿Por qué? porque hay un costo: La Energía que no se producirá y que tiene un valor económico (que se calcula neto descontando los costos de generación y distribución).

Luego, el beneficio neto corresponde a la diferencia entre el beneficio total y el costo total de producir q unidades del bien. Por ejemplo, en la Figura 4, si se produce $q=4$, el beneficio total está dado por el área A (32 unidades monetarias) y el costo total por el área B (10 unidades monetarias). Luego el beneficio neto es de $A-B$ (22 unidades monetarias).

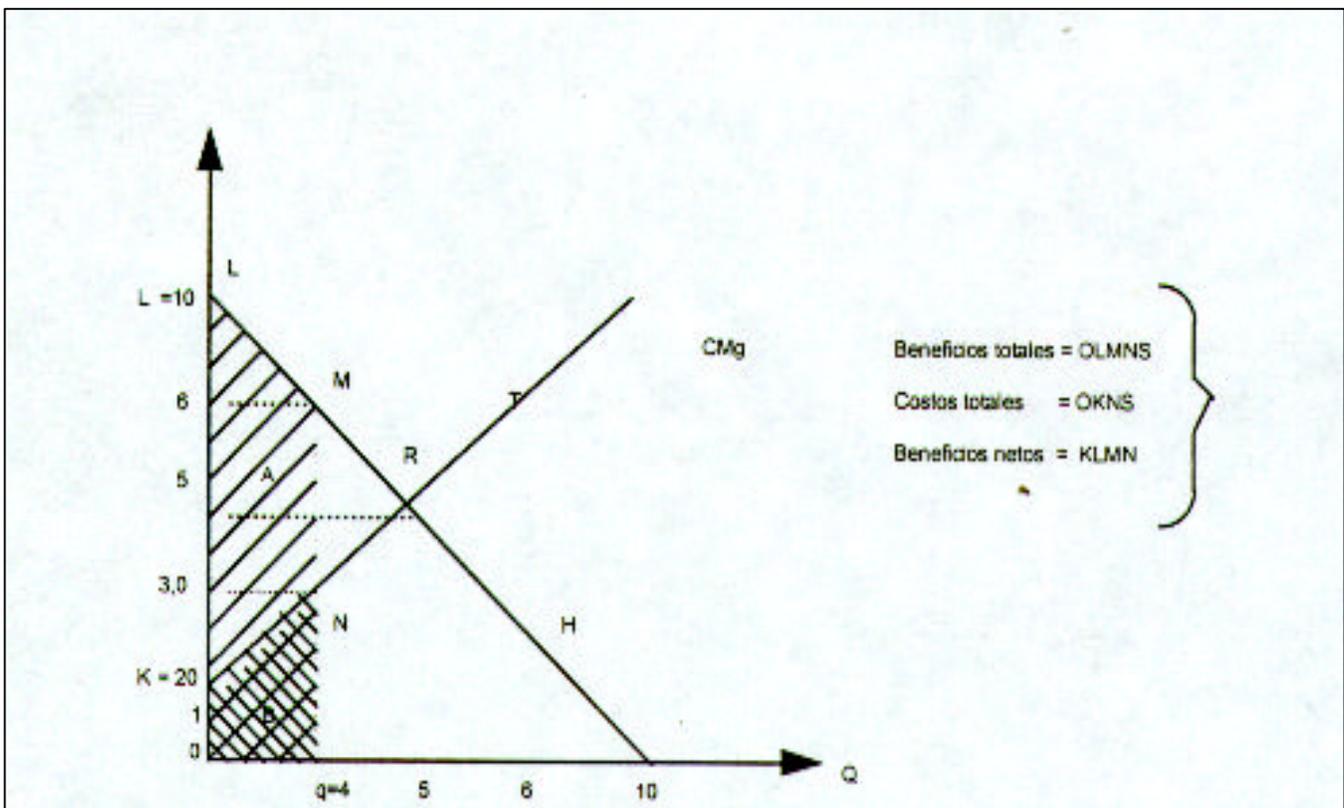


Figura 1.4: Beneficio Neto para 4 unidades

Pero, ¿es eficiente en este caso $q=4$? No, debido a que de nociones microeconómicas básicas se sabe que el punto eficiente es el de equilibrio, es decir donde demanda = CMg. En este punto se maximiza el beneficio neto. Por ejemplo, si aumentamos q a 5, el beneficio neto aumenta en MNR (1,5 unidades monetarias).

Si decidimos producir 6 unidades el beneficio neto se reduce en RTH, con respecto a $q=5$.

La asignación de recursos en el equilibrio competitivo es "Pareto eficiente" (u óptima según Pareto): no existe una reasignación que permitiría beneficiar a alguno sin necesariamente afectar a otros negativamente. Asignaciones ineficientes se juzgan inferiores precisamente porque no maximizan el beneficio neto. Al no hacerlo, se pierde la posibilidad de aumentar el bienestar de algunos sin dañar a otros.

b) Eficiencia Dinámica

El criterio estático es muy útil para comparar la asignación de recursos si el factor tiempo no es relevante. Sin embargo muchas decisiones que se toman hoy afectan el valor de los recursos para futuras generaciones. El tiempo es un factor. Por ejemplo, los recursos no renovables, una vez explotados ya no existen. Luego para estos recursos es relevante la pregunta ¿a qué tasa deben explotarse? Ciertos contaminantes se acumulan en el tiempo y afectan en el futuro peor que en el presente. Los recursos renovables pueden sobreexplotarse, dejando poblaciones de especies menores y más vulnerables para el futuro, como sucede con la pesca y bosques nativos ¿Cómo deben tomarse las decisiones cuando los beneficios y costos ocurren en distintos instantes de tiempo? En este caso es necesario considerar los Beneficios Netos y la oportunidad (timing) de la explotación. El criterio tradicional para ello es el de eficiencia dinámica. Este criterio permite comparar los beneficios netos

recibidos en un período con los recibidos en otro período. El concepto que permite esta comparación es el valor presente, donde el valor presente del beneficio neto B_n obtenido en el año n queda expresado por:

$$Vp(Bn) = \frac{Bn}{(1+r)^n}$$

Donde r es la tasa de descuento anual.

¿Qué sucede si se obtiene un flujo de beneficios sobre un cierto período?

Por ejemplo, si en los próximos 5 años usted va a recibir pagos de: \$3.000, \$5.000, \$6.000, \$10.000 y \$12.000 respectivamente, ¿cuál es el valor presente neto de este flujo?. De otra forma ¿qué cantidad de dinero aceptaría usted hoy que lo dejaría indiferente con respecto a recibir ese flujo? Asumiendo una tasa de descuento de 6%.

$$Vp = \frac{3.00}{1+0,06} + \frac{5.00}{(1,06)^2} + \frac{6.000}{(1,06)^3} + \frac{10.000}{(1,06)^4} + \frac{12.000}{(1,06)^5} = 29.210$$

Luego, el valor presente de este flujo es de 29.210 que es menor a la suma directa de todos los pagos (equivalentes a \$ 36.000) ¿Por qué? Porque usted prefiere disponer de la plata hoy (y ponerla a interés en el Banco a 6% por ejemplo) y la intensidad de esa preferencia quede reflejada en la tasa de descuento. Si exijo una tasa del 10%, significa que mi preferencia por tener el dinero hoy es muy fuerte. En cambio una tasa de 0%, es indicativa de que soy indiferente con respecto a disponer del dinero hoy o en el futuro.

Con esto es posible definir la eficiencia dinámica. Una asignación de recursos en n períodos es eficiente dinámicamente si maximiza el valor presente de los beneficios netos que pueden recibirse de asignar estos recursos en los n períodos.

Para ilustrar esta situación veremos un ejemplo para 2 períodos y un recurso no renovable (ni reciclable). La eficiencia dinámica asume que la sociedad busca maximizar el beneficio neto sobre ambos períodos de explotar el recurso. Existe una disponibilidad fija de este recurso y el costo marginal de extracción es constante e igual a \$2. Por otra parte la demanda (o disponibilidad a pagar por el recurso) está dado por la relación $P = 8 - 0.4q$.

Si sólo hubiera un período ¿Cuál sería la asignación eficiente? Del gráfico (figura 1.5) se desprende que la asignación eficiente sería $q=15$, pues allí es donde la demanda iguala al CMg.

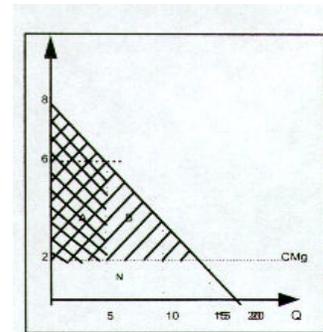


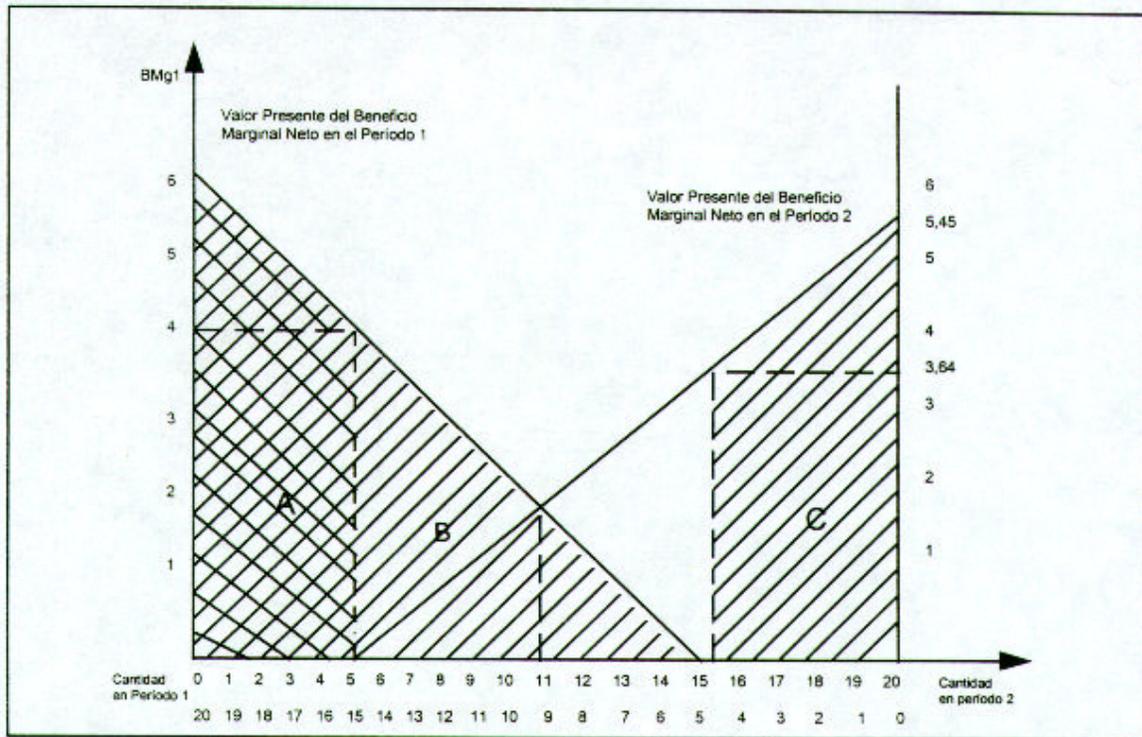
Figura 1.5

Por otra parte, si hubiera 2 períodos y 30 ó más unidades del recurso disponibles.

¿Cuál sería la tasa óptima de explotación? Otra vez, explotar 15 unidades en cada período; independiente de la tasa de interés! La oferta en este caso es suficiente para abastecer la demanda de cada período. La producción de 15 en el período 1 no impide producir 15 en el período 2. En este caso la eficiencia estática es un criterio suficiente, pues el tiempo no es una restricción.

¿Qué sucede si hay disponibles menos de 30 unidades del recurso a repartir en dos períodos?. Supongamos que sólo hay 20 unidades ¿Cómo se puede determinar la asignación eficiente? En este caso si se extraen 15 unidades hoy sólo se podrá extraer 5 unidades en el segundo período, ¿Será

mejor 10 y 10? ó 14 y 6?. De acuerdo al criterio de eficiencia dinámica se busca maximizar el valor



presente del beneficio neto.

Figura 1.6

Este valor presente para ambos años es simplemente la suma del beneficio neto de cada año. Por ejemplo, de la figura 1.5, el valor presente de explotar 15 unidades en el período 1 y 5 unidades en el período 2 es:

$$V_p = (A + B) \frac{A}{(1+r)}$$

Del gráfico 1.5 se desprende que el área A + B es de \$ 45 y el de A es de \$ 25. Si la tasa de descuento es de 10%:

¿Cómo obtener la combinación óptima? Una forma es correr un programa computacional que pruebe todas las combinaciones posibles. Sin embargo, puede también hacerse gráficamente. La figura 1.6 presenta el beneficio neto que la última unidad aporta (esto se conoce como el beneficio neto marginal) en cada período. Por ejemplo, producir la quinta unidad en el período 1 genera un beneficio neto de $(6 - 2 = 4) \$ 4$. Producir la quinta unidad en el período 2 en cambio aporta un valor presente de solo $4/1,1 = 3,64$.

El diferente aporte al valor presente de cada unidad en cada período se aprecia en la figura 1.6. De izquierda a derecha se observa que explotar 0, 5 ó 15 unidades del recurso en el período 1 lleva asociado un valor presente de los beneficios marginales de \$ 6, \$ 4, y \$ 0 respectivamente. De derecha a izquierda en cambio explotar 0, 5 y 15 unidades aporta \$ 5.45, \$ 3,64 y \$ 0 respectivamente. Por otra parte el beneficio neto total en cada período es el área bajo la curva respectiva. Por ello producir 15 unidades en el período 1, y 5 en el período 2 genera utilidades de

$$((6 \times 15) / 2) + 5 \times 3,64 + ((5,45 - 3,64) \times 5 / 2) = \$67.73$$

¿Es posible aumentar el valor presente de los beneficios netos? Claramente en el punto de intersección donde $q_1 = 10,238$ y $q_2 = 9.762$ se maximiza este valor. El beneficio neto resultante en el período 1 es de 40.466 y en el período 2 de 39.512.

Se concluye que para maximizar el beneficio neto es necesario igualar el valor presente del beneficio marginal neto de cada periodo. Se observa que al igualar los beneficios marginales se debe explotar más en el período 1 que en el período 2

¿Qué sucede si la tasa de descuento aumenta? El valor presente del beneficio marginal en el período 2 rota hacia abajo. Con ello se explotará más el recurso en el período 1 y menos en el período 2. ¿Qué sucede si la tasa es cero? Corresponde explotar 10 unidades en cada período.

¿Qué ha pasado? la escasez del recurso impone un costo de oportunidad a su explotación. Este costo se conoce como el Costo Marginal de Uso. Al ser escaso el recurso, un mayor uso actual reduce oportunidades de uso futuras. Estas oportunidades futuras que se pierden tienen un valor. Hay un costo de oportunidad de usar hoy el recurso. Incluso en ausencia de una tasa de descuento, no convendrá explotar 15 en el período 1 y 5 en el período 2. La razón de ello es que al explotar 15 unidades hoy en vez de 10, se genera un beneficio neto positivo, pero las últimas 5 unidades aportan poco beneficio adicional. Si éstas 5 unidades se guardan para el período 2, generarán mayores beneficios netos.

Por ejemplo si se tiene 20 unidades de agua acumulada en un embalse para 2 períodos, utilizar 15 en vez de 10 en el período 1 puede permitir que se produzcan alimentos y además que los jardines se mantengan bellos en el período 1.

Sin embargo, en el período 2 las 5 unidades restantes no alcanzarán siquiera para producir los alimentos requeridos (que tienen por cierto un alto valor). Otra alternativa (de mayor valor) sería utilizar 10 unidades el primer período lo que permite producir los alimentos pero no regar los jardines y luego en el segundo período todavía tener 10 unidades para producir alimentos. Si bien se pierde de gozar los jardines en el período 1, ¿se gana el tener alimentos en el período 2! Esta alternativa es de mayor beneficio neto que la primera.

El no tomar en cuenta el mayor valor de escasez del recurso llevará a una situación ineficiente debido a la escasez adicional impuesta al futuro. Este costo marginal de uso es La diferencia entre el precio del recurso en cada periodo y el costo marginal de proveerlo.

Esto se puede estimar en el ejemplo, El precio de venta para $q_1 = 10.238$ se determina d la curva de demanda ($P=8-0.4 \times 10.238$). Se obtiene $P_1 = \$ 3.905$. Similarmente como $q_2 = 9.762$ entonces $P_2= \$ 4.095$. Luego el costo marginal de uso es $3.905-2 = \$ 1.905$ en el periodo 1.

(c) El Criterio de Sustentabilidad:

No existe un concepto de equidad o justicia aceptadas universalmente, en cuanto a la explotación de recursos, si bien algunas tienen mayor aceptación que otros. Uno de estos conceptos se refiere al tratamiento de generaciones futuras. ¿Qué deben dejar las generaciones anteriores a las posteriores? Un gran problema para resolver esta pregunta es que las futuras generaciones no existen aún y por tanto no pueden expresar (ni menos pelear por) sus preferencias ("Aceptaríamos sus desechos radioactivos, pero déjenos abundantes reservas de titanio").

Un punto de partida para la equidad intergeneracional lo proveyó el filósofo John Rawls en su "Teoría de la Justicia" (1971). Rawls sugiere que una forma de derivar principios generales de justicia es ubicar, hipotéticamente, a cada individuo en el momento histórico sin que sepa cuál es. Estando bajo este "velo de ignorancia" se le pediría a las personas que eligieran las reglas que gobernarían la sociedad en la que ellos, luego de la decisión, se verían forzados a vivir.

¿Qué tipo de reglas emergerían en este caso? Al no saber a qué generación pertenecen, se puede esperar que el individuo no sea demasiado conservacionista (perdería mucho si le corresponde

una generación temprana) ni muy explotador (perdería mucho si esta regla es aceptada y le corresponde una generación tardía).

Lo más probable es que se llegaría a lo que se conoce como "Criterio de Sustentabilidad". Este criterio sugiere que, como mínimo, las futuras generaciones no deben quedar peor que la generación actual. Explotar recursos hoy de modo de empobrecer a las generaciones futuras, y enriquecer en términos relativos a las actuales, sería claramente injusto.

¡Este criterio no impone sin embargo que se deba dejar el mismo número de recursos disponibles a futuras generaciones! Pueden explotarse los recursos siempre que se deje a cambio algo que las futuras generaciones valoran más (stock de capital por ejemplo). Sólo si el consumo de estos recursos deja manifiestamente peor a las futuras generaciones se estaría violando el criterio de sustentabilidad.

¿Viola el criterio de eficiencia dinámica este criterio de sustentabilidad? Es lo que parece.

En Nuestro ejemplo anterior se explotan más recursos en el primer período que en el segundo (10.238 vs 9.762), y por tanto los beneficios netos del período 2 son menores que en el período 1. La sustentabilidad no permite que las generaciones iniciales se beneficien a expensas de los del futuro, y en este ejemplo esto es lo que parece estar pasando.

Sin embargo, nada impide que la generación del período 1 ahorre parte de sus beneficios netos y los traspase a los del período 2: Si la asignación es dinámicamente eficiente, siempre será posible guardar parte de los beneficios netos obtenida en el período 1 y con ello compensar a los del período 2 mejor que con cualquier otra forma de explotación.

Supongamos por ejemplo que se asume que es más justo que cada generación consuma 10 unidades del recurso. Los beneficios netos en tal caso serían de \$ 40 en cada período ($6 \times 15/2 - 2 \times 5/2$). Al comparar con los beneficios netos obtenidos en cada período utilizando el criterio de eficiencia dinámica (40,466 y 39.512) se observa que, de no existir mecanismo para traspasar parte de los beneficios, se violaría el criterio de sustentabilidad.

Pero las cosas cambian si se permiten traspasos entre generaciones. Si la primera generación se queda sólo con \$ 40 de beneficio neto y ahorra los 0.466 restantes a una tasa de 10%, entonces este ahorro crecería a 0.513. Al sumarlo al beneficio neto de la generación del período 2, ¡se tendría 40.025240! Luego la generación del período 1 estaría en igual situación, pero la del período 2 mejoraría con respecto a explotar 10 cada período. Por ello, de existir mecanismos de traspaso, es conveniente para la generación futura aceptar el criterio de eficiencia dinámica.

Luego la eficiencia dinámica es perfectamente compatible con el criterio de sustentabilidad, si es que existen mecanismo para traspasar parte del beneficio a futuras generaciones. Por ejemplo, parte de las utilidades de explotar un recurso no renovable como el petróleo pueden utilizarse para financiar la investigación de sustitutos a ser utilizados en el futuro, para construir nuevas escuelas o más caminos.

En resumen se pueden buscar alternativas eficientes y sustentables.

1.3. **DESARROLLO SUSTENTABLE:** Algunos Comentarios¹

¿Qué es desarrollo sustentable? De acuerdo al Informe Brundtland "desarrollo sustentable es desarrollo que permite satisfacer las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de generaciones futuras de satisfacer sus propias necesidades". Pero esta no es la única definición, de hecho se han clasificado 61 definiciones².

Las diferentes definiciones se ligan a ideologías ambientales contrapuestas. Por una parte desde una perspectiva ecocéntrica los ecologistas "profundos" se acercan a rechazar el uso de los recursos si afecta su cantidad o calidad actual. Para ellos, sólo es aceptable una estrategia de desarrollo minimalista. Se debe reducir la escala actual de la economía y llegar, por ejemplo, a cero crecimiento económico y de población lo que llevaría a una economía en "estado estable". Desde una perspectiva contrapuesta -La tecnocéntrica- se argumenta que el concepto de sustentabilidad contribuye, poco a la teoría y práctica económica convencional. En este enfoque una estrategia de desarrollo económico sustentable en el largo plazo depende exclusivamente en hacer los gastos de inversión requeridos. Invertir en capital natural no es irrelevante, pero tampoco de especial importancia. Un supuesto clave de este enfoque es que continuará habiendo un alto grado de sustituibilidad entre todas las formas de capital (físico, humano y natural). Bajo este enfoque se debe dejar al mercado actuar con el mínimo de restricciones y además sus adherentes tienen gran fe que la tecnología permitirá superar los "límites" impuestos por restricciones ambientales. Ambas posiciones pueden clasificarse como de "sustentabilidad muy fuerte" (SMF) y "sustentabilidad muy débil" (SMD) respectivamente.

¹ Basado en Pearce et al, "Environmental Economics", Capítulo 4, 1993.

² Ver John Pezzey, "Economic Analysis of Sustainable Growth and Sustainable Development", Working Paper N°13, Banco Mundial, 1989.

La definición del informe Brundtland implica preocuparse tanto de la "equidad intergeneracional" como de la "equidad intrageneracional" si la sociedad desea alcanzar un desarrollo sustentable. El desarrollo económico y social debe hacerse minimizando los efectos en los recursos cuando estos efectos son absorbidos por generaciones futuras. Si actividades vitales imponen un costo al futuro éstas deben ser compensadas. Es optimista respecto de las posibilidades para desacoplar crecimiento e impactos ambientales. Con ello, se ubica dentro del bando de la sustentabilidad débil.

La pregunta central pasa a ser ¿cómo compensamos al futuro por daño provocado hoy? La respuesta es por medio de legar capital. Es necesario dejar a generaciones futuras un stock de capital no inferior al actual. ¿Pero cuánto y qué capital? Enfoques distintos tienen respuestas diferentes para ello.

El enfoque de sustentabilidad débil no trata el medio ambiente (capital natural) en forma especial. Lo toma como otra forma más de capital. Por ello para que haya desarrollo sustentable según este enfoque, simplemente es necesario transferir hacia el futuro un stock de capital agregado no inferior al actual. Esto constituye la regla de capital constante bajo sustentabilidad débil: podemos dejar algo menos de recursos ambientales siempre que ésta pérdida se compense con aumentos en el stock de caminos, maquinarias o más educación.

Por otra parte, el enfoque de sustentabilidad fuerte (algo menos extrema que el de SMF) no acepta que exista sustitución perfecta entre diferentes formas de capital. Algunos elementos del stock de capital no pueden sustituirse por capital hecho por el hombre. Algunas de las funciones y servicios de los ecosistemas son esenciales para la supervivencia del hombre y por tanto son irremplazables. Otros son esenciales para su bienestar (belleza escénica, espacio, etc.). Estos activos son capital natural crítico y debido a que no se pueden sustituir, se deben proteger.

Otra forma en que el desarrollo sustentable puede implicar generar mejoras en el bienestar actual sin reducir al bienestar de futuras generaciones es por medio de mantener un flujo de ingresos sustentables. Este es un nivel de ingreso que el país puede lograr sin reducir su stock de capital. El peligro de acuerdo a este enfoque es que el sistema actual de cuentas nacionales no incorpora reducciones al stock de capital natural y por tanto hay una percepción errónea del desempeño de la economía. Como resultado el crecimiento observado no es sostenible, pues al agotarse los recursos no será posible mantener el nivel de ingresos. Se requieren por ello dos modificaciones al sistema de cuentas nacionales. Una por la depreciación del capital natural (variaciones en la cantidad) y otra por la degradación del stock de capital natural (variaciones en la calidad).

Finalmente, en la línea de la posición de sustentabilidad fuerte, las restricciones impuestas para salvaguardar la sustentabilidad (por ejemplo, una "regla de protección del capital natural crítico") pueden visualizarse como expresiones del llamado principio precautorio y una noción similar, los estándares de seguridad mínimos (ESM). El principio precautorio establece que debido a las incertidumbres deben fijarse estándares de emisión con amplios márgenes de seguridad. Los ESM son una forma de asegurar que en un contexto de incertidumbre y posibles irreversibilidades, las generaciones actuales pueden descartar -dependiendo de los costos sociales implícitos- actividades que deprecien el capital natural más allá de un cierto umbral (por ejemplo, pérdida de capital natural crítico).

El cuadro siguiente resume los enfoques discutidos, las estrategias de gestión asociadas y los instrumentos favorecidos bajo cada uno.

Cuadro 1: Enfoque para la Sustentabilidad

Enfoque	Estrategia de Gestión (para políticas y proyectos)	Instrumento más favorecido
Sustentabilidad Muy débil	<ul style="list-style-type: none"> . Análisis costo-beneficio tradicional. . Corrección de fallas del mercado y de intervención vía precios eficientes. . Criterio de Pareto (Compensación hipotética) . Soberanía del consumidor. . Infinita sustitución. 	<ul style="list-style-type: none"> . impuestos . eliminación de subsidios . imposición de derechos de propiedad
Sustentabilidad Débil	<ul style="list-style-type: none"> . Enfoque costo-efectivo . Aplicación de métodos de valoración. . Compensación. . Versión débil de ESM. 	<ul style="list-style-type: none"> . Impuestos . Permisos . Metas de calidad ambiental. . Depósito-devolución.
Sustentabilidad Fuerte	<ul style="list-style-type: none"> . Estándares fijos . Principio precautorio . Versión fuerte de ESM 	<ul style="list-style-type: none"> . Estándares ambientales. . Zonas de exclusión. . Estándares tecnológicos. . Permisos
Sustentabilidad Muy fuerte	<ul style="list-style-type: none"> . Abandono de Costo-Beneficio . Uso restringido de Costo-Efectividad . Bioética 	<ul style="list-style-type: none"> . Estándares y regulación. . Licencias para nacimientos.

Ref : Pearce et al, opcit.

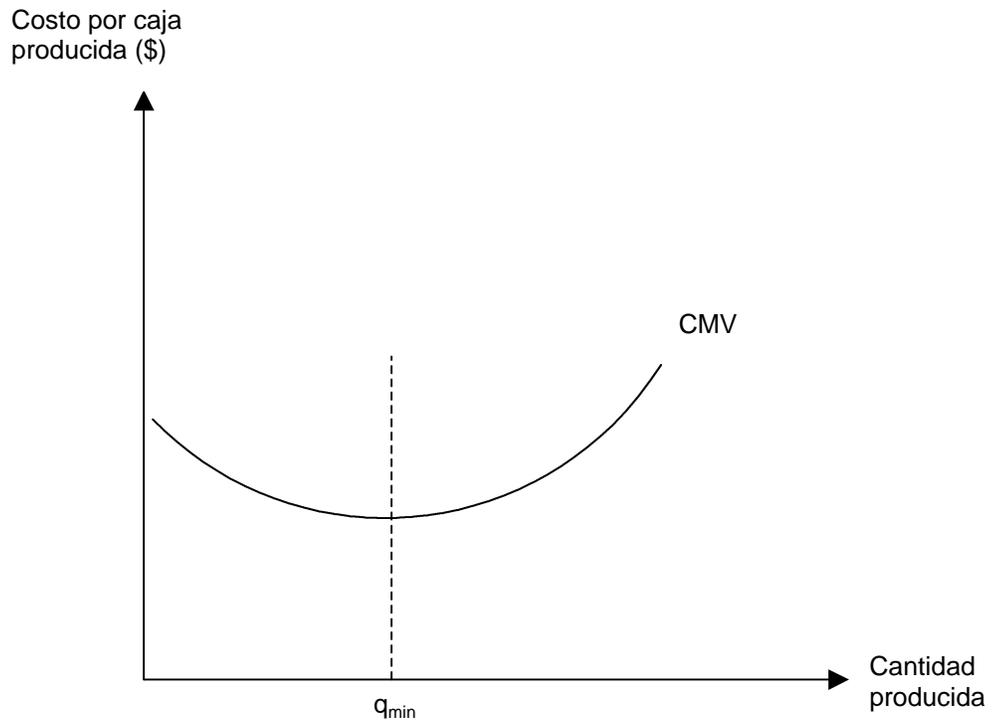
2. **¿POR QUE FALLAN LOS MERCADOS?**

2.1. **EL FUNCIONAMIENTO DE LOS MERCADOS**

En competencia, las curvas de oferta y demanda determinan la cantidad de un bien que se demandará y su precio (denominados de equilibrio). Estas curvas dependen del comportamiento de las firmas y consumidores respectivamente.

Las firmas buscan maximizar sus utilidades que corresponden a la diferencia entre sus ingresos y sus costos. El ingreso obtenido al vender una unidad adicional del bien se denomina ingreso marginal (IMg). En caso de ser constante el precio que enfrenta la firma (lo que sucede en competencia perfecta), el ingreso marginal es constante e igual a P. Por otra parte los costos pueden descomponerse en costos fijos y costos variables. Los costos fijos son aquellos requeridos incluso antes de producir una unidad del bien (digamos "cajas"): edificaciones, terrenos, maquinaria, etc. No varían al aumentar la producción. Los costos variables en cambio son función de la cantidad producida del bien, por ejemplo para producir más cajas la firma deberá contratar más trabajadores, usar más energía, y comprar más cartón. Ignoremos por ahora los costos fijos ya que, como veremos no influyen en la decisión de cuánto producir. Finalmente el costo marginal variable (CMV) es el costo de producir cada caja adicional. Una curva de CMV típica se observa en el gráfico siguiente.

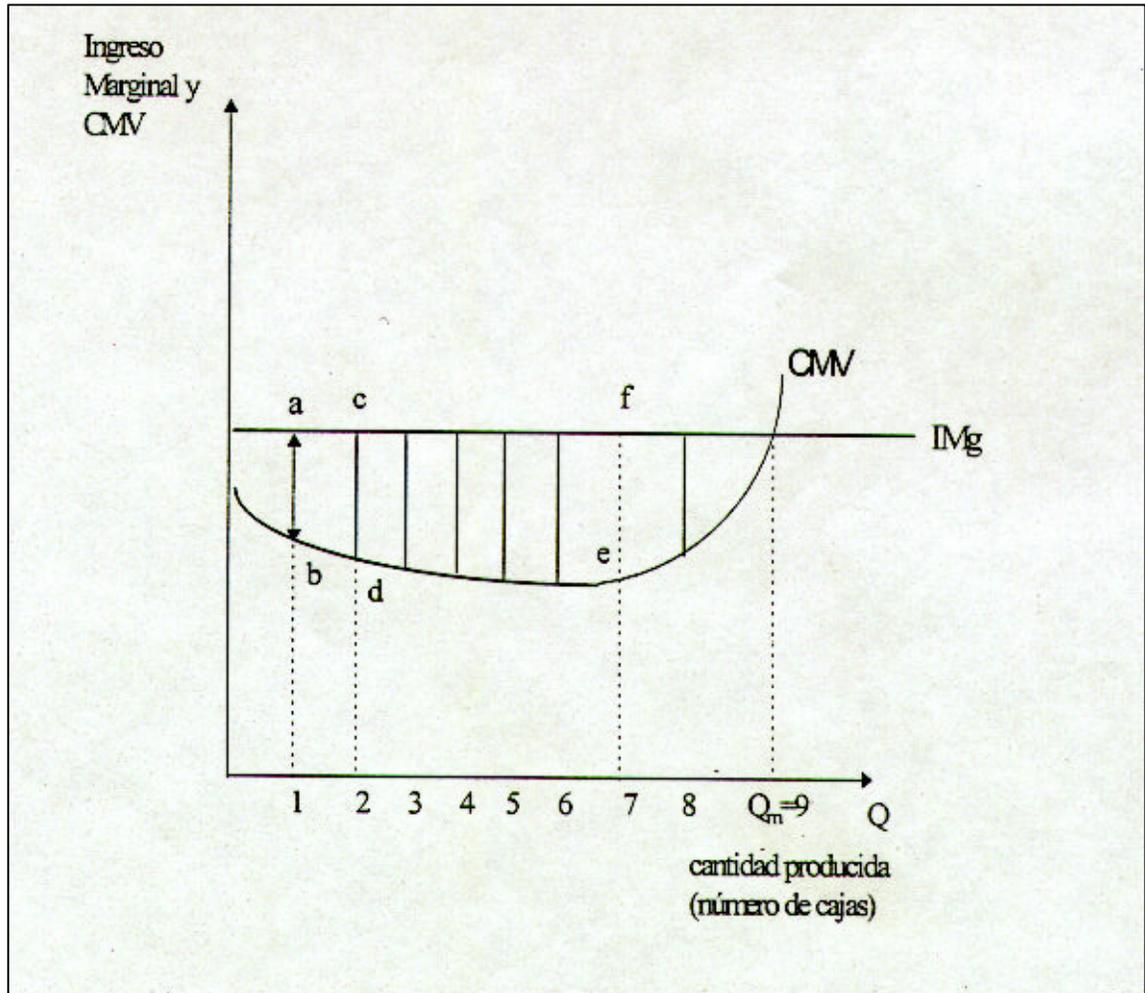
Figura 2.1 : Costo Marginal Variable



La forma de la curva de CMV se debe a que para niveles de producción bajos (menores a Lq_{\min}) cada nuevo trabajador es muy productivo dado el capital, edificaciones, etc. disponibles. Como resultado el costo de producir una caja disminuye a medida que aumenta la cantidad de cajas producidas (¿qué sucede, con el costo total?). Sin embargo, a medida todas las máquinas tienen operarios, la contratación de nuevos operarios sólo incrementa marginalmente el total de cajas producidas y por tanto el costo por unidad adicional empieza a subir. Hasta antes de q_{\min} cada trabajador adicional es más productivo que el anterior. Sin embargo, pasado q_{\min} la productividad cae al disponer cada trabajador de menor capital (u otros insumos de producción).

Las utilidades que obtiene por cada caja que produce y vende se calculan como la diferencia entre el costo de producir la unidad (CMV) y el ingreso adicional obtenido por su venta (ingreso marginal). Ambas curvas se observan en la figura 2.2. La curva de ingreso marginal es horizontal ya que se asume que el precio es constante.

Figura 2.2 : El nivel óptimo de producción



Del gráfico la utilidad marginal de producir la unidad 1 es ab y la de producir la unidad 2 es cd , etc.

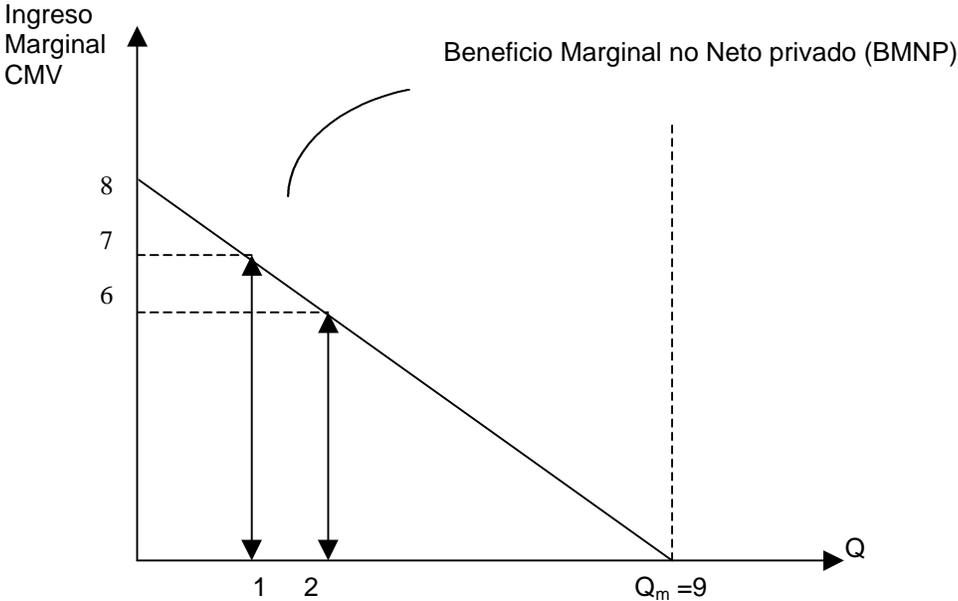
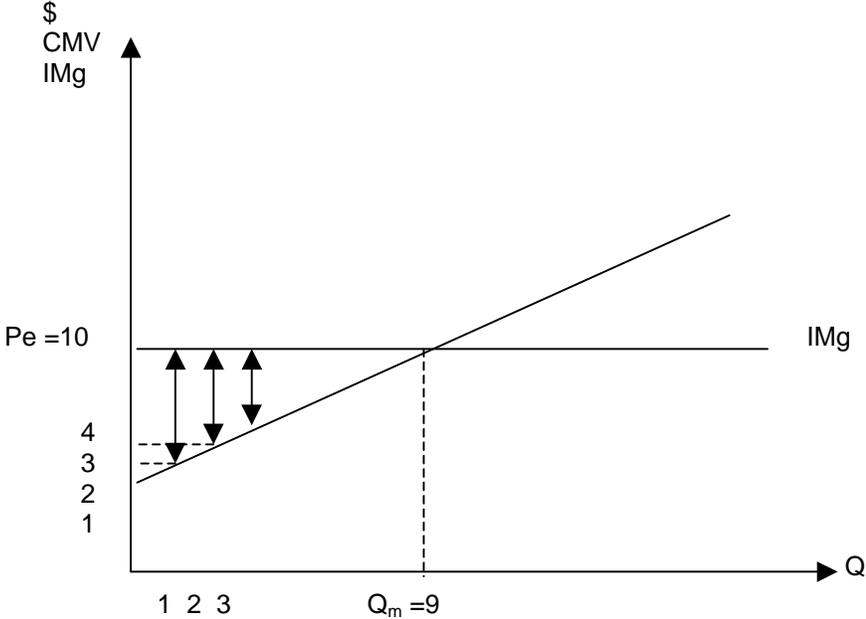
¿Qué importancia tiene esto para las decisiones de producción de la firma? Es crucial pues permite establecer lo que debe producir, si la firma busca maximizar sus utilidades. Claramente, deberá producir siempre que el ingreso adicional de una caja producida sea menor al costo de producirla. Por ejemplo si $Q = 7$, la utilidad marginal de producir una unidad adicional será positiva e igual a ef . Por tanto, la utilidad total aumenta en ef . Obviamente la cantidad que maximiza las utilidades se producirá donde $IMg = CMV$. Esta regla es de oro para un productor. Si CMV es menor que el IMg , el productor debe aumentar su producción. Si $IMg < CMV$ entonces debe reducir su producción.

El punto Q_m donde $IMg = CMV$ es el nivel de producción óptimo para la firma. Sus utilidades serán máximas. Por ello el mercado llevará siempre a las firmas a producir donde $IMg = CMV$.

Ahora podemos volver a considerar los costos fijos. Estos deben restarse de las utilidades totales obtenidas. Por cierto que si las utilidades así obtenidas son menores que cero, le convendrá cerrar a esta firma en el largo plazo.

Finalmente, es común ignorar la parte de costos decrecientes y por tanto sólo se dibuja la parte creciente curva de CMV . Con ello se llega a las curvas presentadas en la figura 2.3.

Figura 2.3 : Curva de CMV Simplificada y beneficio marginal neto privado (BMNP)



En este ejemplo, producir la primera unidad genera una utilidad de \$ 7 ya que el ingreso marginal es $P_e = 10$ y el costo marginal de producir esa unidad es \$ 3. Producir la segunda unidad cuesta \$ 4 y el ingreso marginal sigue siendo 10. Luego la utilidad adicional de producir la segunda unidad es \$ 6 ($10 - 4$). La utilidad total en cambio es la suma de la utilidad marginal de producir las dos unidades, es decir \$ 13. En el segundo gráfico se presenta la curva de utilidad marginal a cada nivel de producción. Esta curva la denominaremos beneficio marginal neto privado (BMNP). Se observa que producir la primera caja genera un BMNP de \$ 7 y la segunda caja un BMNP de \$ 6. Claramente el área bajo la curva de BMNP corresponde a la utilidad total o beneficio privado total obtenido por la firma. Este beneficio se maximiza al producir $Q_m = 9$.

2.2. EL USO DE RECURSOS AMBIENTALES Y EXTERNALIDADES

En conclusión en un mercado libre, las firmas consideran dos factores al determinar su nivel de producción:

1. El precio
2. El costo de producir cada unidad

¿Qué implicancias tiene lo anterior respecto del uso de recursos de parte de la firma? Recordemos que en el ejemplo de la firma que produce cajas, para producir una caja adicional se utilizaban como insumos adicionales trabajo, materia prima, energía, etc. La firma sólo incrementará su producción de cajas si un aumento del precio lo justifica, es decir si el ingreso adicional es superior al costo marginal de hacerlo. Esto implica que una firma que maximiza utilidades se cuida mucho de despilfarrar recursos por los cuales debe pagar.

Esto lleva a una conclusión importante: los mercados dan a las firmas un fuerte incentivo para conservar -y no sobrexplotar- todos aquellos recursos por los cuales deben pagar. Sólo utilizarán tales recursos hasta el punto tanto su costo iguala el ingreso que generan y por tanto no los sobreutilizarán más allá de este punto. Esto es atractivo: los mercados parecen utilizar eficientemente los recursos.

Pero este uso eficiente de recursos se cumple siempre que se pague por éstos. El mercado comienza a fallar si el recurso utilizado es gratis (aunque tenga un valor real como es el caso del aire que respiramos) o si su costo no refleja adecuadamente su valor para la sociedad. Por ejemplo la energía adicional requerida para producir más cajas probablemente se genera a partir de combustibles fósiles -en este caso puede ser electricidad, que a su vez es generada por carbón-. El costo para la firma es simplemente lo que se cobra con la cuenta de electricidad. Por otra parte este costo sólo refleja el costo adicional en carbón (y otros insumos) de la empresa generadora. No incluye el daño ambiental ocasionado por esta planta generadora.

La combustión de carbón genera óxidos de nitrógeno y dióxido de azufre, ambos responsables de enfermedades respiratorias, daño a agricultura y bosques, y acidificación de aguas. Además produce dióxido de carbono que contribuye a aumentar el efecto invernadero. En ausencia de regulación, ninguno de estos daños se le cobra a la empresa generadora y por tanto ésta no lo incorpora en el precio cobrado a la firma productora de cajas. Con ello ésta no paga el costo real de esta energía.

¿Quién paga? La sociedad en la forma de peor salud y degradación ambiental.

Otro problema similar se genera cuando las firmas usan ciertos servicios ambientales esenciales para ellos pero para los que el mercado no pone precio. Por ejemplo, la misma firma puede descargar residuos líquidos en un río cercano pero no paga por los servicios de asimilación de los residuos del agua, a pesar de que éstos pueden dañar el ambiente de diversas maneras: reduciendo la pesca aguas

abajo, obligando a invertir en plantas de tratamientos de aguas, etc. A mayor producción, mayores descargas y por tanto mayor daño aguas abajo.

El daño asociado con esta degradación ambiental no afecta a las empresas privadas (generadora de electricidad ó productora de cajas) y por tanto no es en costo interno que se refleje en sus CMV. En cambio dañan a la sociedad en su conjunto provocando lo que se conoce como una externalidad. Estas se definen en general como efectos no intencionales del proceso productivo (o del consumo) y que afectan a terceros negativamente o positivamente. La actividad de un agente (en este caso la firma) provoca una pérdida de bienestar a otro agente (por ejemplo pescadores) y esta pérdida de bienestar es involuntaria y no compensada. Al ser negativa la externalidad genera un costo externo sobre los afectados.

La firma usa recursos sin precio (¡no sin valor!) del mismo modo que cualquier recurso con precio y por tanto incrementará su uso hasta que el costo interno de hacerlo sea menor al ingreso marginal obtenido. Como el costo ambiental es cero en esta caso para la firma, incrementa su uso sin considerar el daño ambiental que ello provoque.

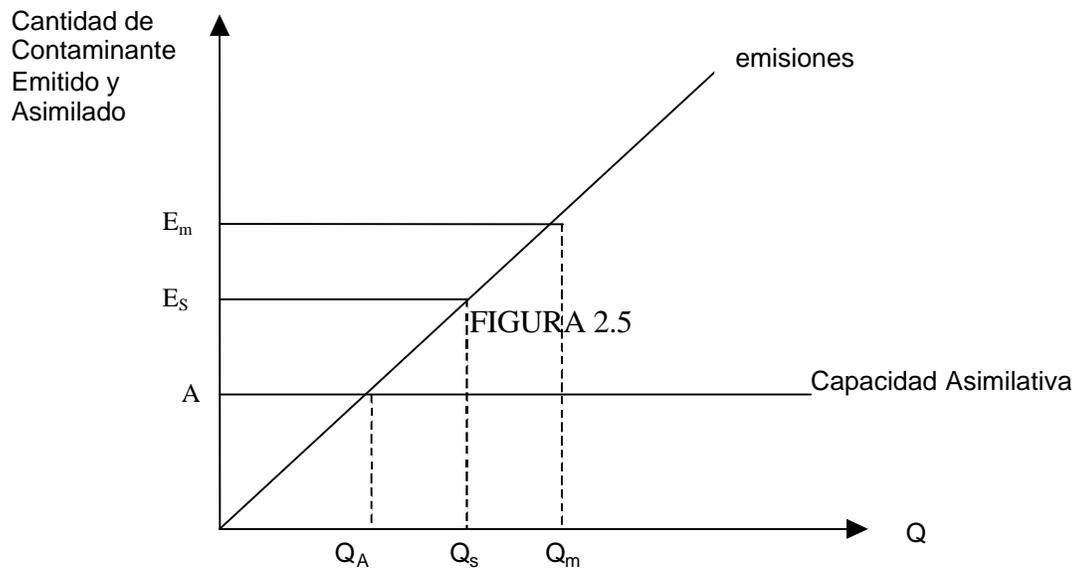
2.3. PRODUCCIÓN, CONTAMINACIÓN Y COSTOS EXTERNOS

(el nivel óptimo de producción).

Por lo expuesto el sistema de mercado falla como asignador eficiente de recursos en el caso de existir recursos ambientales sin precio. Cuando la firma utiliza y degrada un recurso ambiental sin precio (tal como la función asimilativa de residuos del agua), no incurre en costos internos (su curva de CMV no aumenta), pero si impone costos externos sobre la sociedad. La figura 2.4 muestra como la producción de bienes genera contaminación. A mayor producción mayores emisiones.

Hasta el nivel de producción Q_A , el ambiente es capaz de asimilar las descargas sin que éstas provoquen daño. Al aumentar la producción más allá de Q_A estas descargas superan la capacidad asimilativa del ambiente y comienza a producirse daño ambiental. Estos daños imponen un costo a la sociedad que se presentan en la figura 2.5. Deben distinguirse los daños totales asociado al total producido (y por tanto el total emitido) de los daños marginales o costos marginales externos (CME). El costo a daño total es la suma de los costos marginales externos.

Figura 2.4. Relación entre Producción y Emisión



¿Cuál será el nivel óptimo de producción de cajas en estas condiciones? Para obtenerlo sería necesario considerar todos los beneficios y daños que su producción genera. Estos se observan en la figura 2.6, que junta los beneficios y costos marginales asociados a cada nivel de actividad Q .

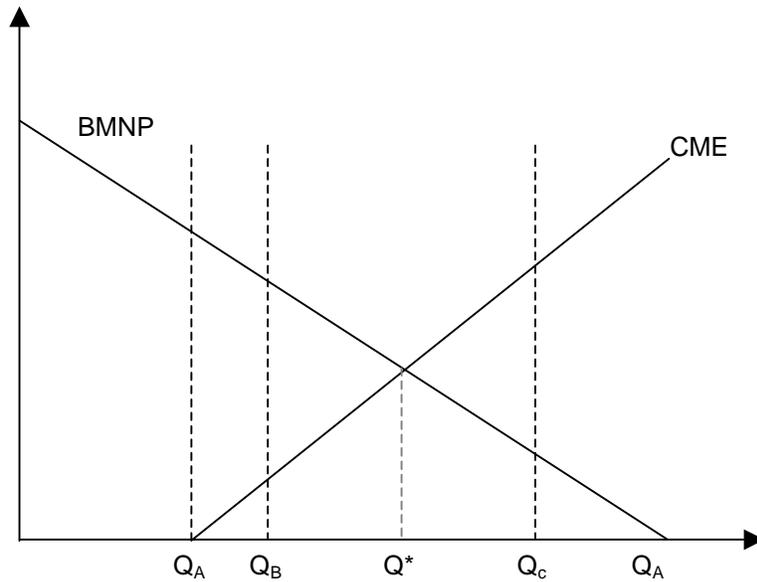


Figura 2.6: El nivel óptimo de producción

Por una parte la firma obtiene beneficios marginales netos privados y, por otra, sus descargas imponen un costo marginal externo a la sociedad.

En el nivel de producción Q_A el beneficio marginal es mayor al daño marginal (que es cero). Por tanto producir Q_A aumenta el beneficio neto de la sociedad. En Q_B el beneficio marginal es mayor al daño marginal, por tanto a la sociedad en su conjunto le conviene que se produzca esa unidad también. En Q^* el costo y beneficio marginal se equiparan, vale decir al producir esa unidad el nivel de beneficios neto de la sociedad no cambia.

Finalmente en Q_C los daños superan claramente los beneficios marginales y por tanto a la sociedad no conviene su producción. De hacerlo se reduciría el beneficio neto de la sociedad. En conclusión el beneficio neto de la sociedad aumenta hasta que el nivel de producción llega a Q^* , nivel óptimo de producción.

Recordemos que de no considerarse los costos externos la firma produciría Q_m . Luego el nivel óptimo de producción es MENOR que el que se obtiene al dejar al mercado actuar sin regulación. Dicho de otra forma, si los que contaminan se ven obligados a pagar por los daños que sus emisiones generan (lo que estaría en consonancia con el principio "el que contamina paga"), producirían menos que en ausencia de regulación. Por otra parte es importante notar que el nivel óptimo de contaminación no es cero (pues la producción no es cero sino Q^*).

2.4. DEFINICION TAXONOMÍA Y DE EXTERNALIDADES

Cabe ahora hacer algunas definiciones. ¿Qué es una externalidad? Baumol y Oates proponen que "una externalidad está presente cuando la función de utilidad de un individuo o de producción de una firma (digamos A) incluye variables reales (esto es no monetarios), cuyos valores son elegidos por otras (personas, firmas, gobiernos), sin prestar atención (o sin incorporar a su proceso de toma de decisión) a los efectos sobre el bienestar de A"

(Es decir que el echar sal en el café de otro intencionalmente no es una externalidad; pues es intencional).

Esto basta para definir una externalidad. Sin embargo una 2ª condición que se relaciona con la definición de externalidad sugiere que es necesario que el tomador de decisiones cuya actividad afecta

la utilidad de otro ó entra en la función de producción de otro, no recibe (paga) una compensación por esta actividad en un monto igual en valor a los beneficios (costos) resultantes sobre otros. Sin embargo puede ser redundante ya que si A es afectado por B, por lo general no recibe una compensación. Para fines de formalidad conviene mantenerlo.

Formalmente entonces estaremos en la presencia de externalidades cuando la función de utilidad y/o de producción pueden escribirse como.

$$u = u(x_1, \dots, x_N, Z)$$

$$y = f(y_1, \dots, y_n, Z)$$

x_i : Cantidad del bien i consumido por el individuo

Z : Nivel de la externalidad

y_i : Cantidad del bien i producido por la firma

¿Y qué externalidades serán de interés?

Conviene distinguir tanto por ORIGEN como por los AFECTADOS:

- (i) Una externalidad en el consumo es una actividad económica por un consumidor que entra la función de utilidad de al menos un consumidor, pero que no afecta la producción.

Ejemplo : Reja alta que afecta visibilidad de otros.

Música fuerte a altas horas de la noche.

- (ii) Externalidad en la producción: Actividad económica de parte de alguna firma que afecta la función de producción de al menos otra firma pero no entra en la función de utilidad de ningún consumidor. Por ejemplo, la extracción de significativa cantidad de agua subterránea desde un pozo por parte de una empresa minera puede afectar a otra empresa minera.

- (iii) Externalidad Relacionada al Consumo y Producción. La actividad económica de algún consumidor (producto) afecta la función de producción (función de utilidad) de al menos una firma (consumidor). Contaminación de Aire o Agua por ejemplo.

- (iv) Externalidad de Congestión: Sucede si a valores reducidos de la actividad relevante (circulación vehicular) no se degrada el ambiente, pero al aumentar la actividad si se genera degradación.

2.5. BIENES PÚBLICOS

Existen recursos que presentan las siguientes características:

- (1) Son "indivisibles" o "no rivales " para el consumo. Esto implica que su consumo por una persona, no afecta el consumo del mismo bien por otra persona. Por ejemplo un escenario de gran belleza natural puede ser apreciada por dos personas sin que el goce de una afecte el goce de la otra. Esto a diferencia de un bien "privado" (como una galleta) donde el consumo del bien por uno, impide el consumo del mismo bien por otro. Lo mismo sucede con el aire limpio y biodiversidad biológica: pueden ser aprovechada por más de un consumidor. En la pesca en cambio si hay rivalidad: lo que yo pesco ya no lo puede pescar otro.

- (2) Son por lo general de acceso libre para todos ("no excluibles" o "no apropiables").

Recursos con estas características se denominan "bienes públicos ".

La siguiente Tabla es ilustrativa:

Tabla 2.1. : Ejemplo de bienes públicos, privados y de acceso libre.

		EXCLUSION			
		SI		NO	
Rivalidad	SI	Pan, autos, casa	1	Pesca, Terrenos de Pastoreo	2
	NO	Puentes, piscinas	3	Defensa Nacional, Consumo de Aire Diversidad Biológica En Bosques	4

- Casillero 1 : bienes privados
- Casillero 2 : acceso libre
- Casillero 4 : bienes públicos

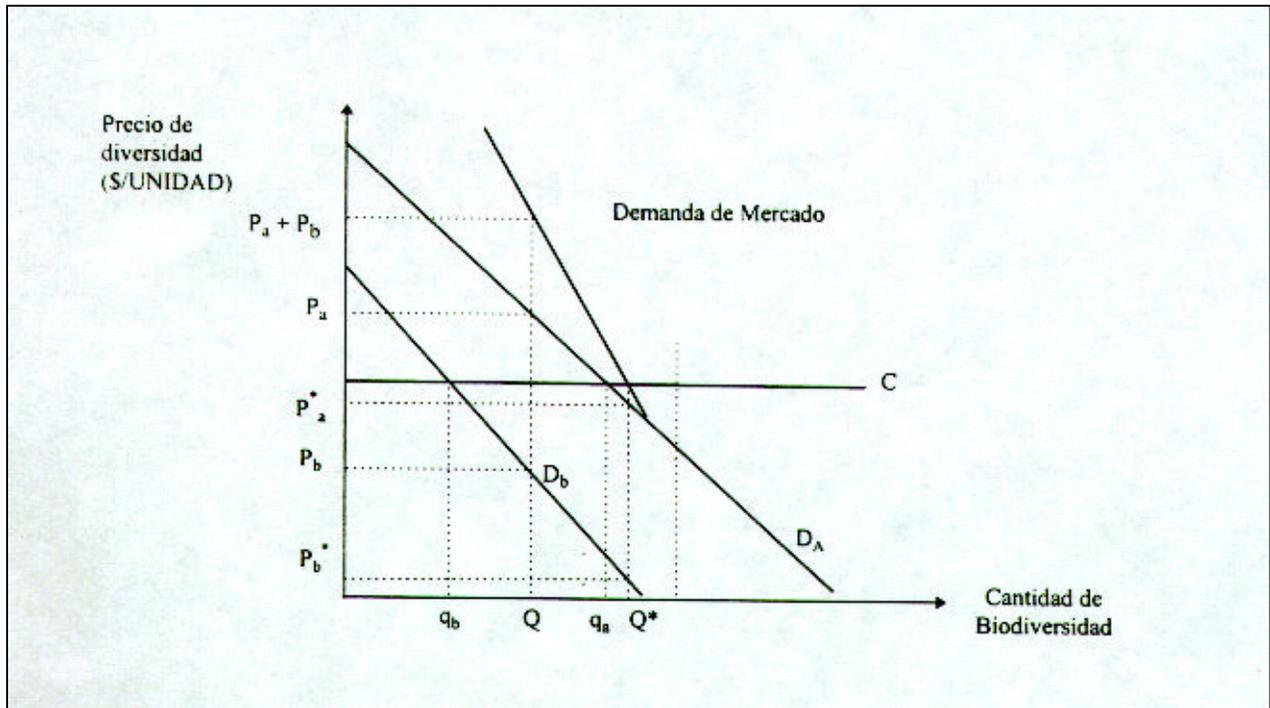
En el casillero 1 se tienen bienes rivales y excluibles. Son los típicos bienes privados para los cuales el mercado asigna eficientemente los recursos. En el casillero 2, se encuentran los bienes de acceso libre o bienes de propiedad común. Al ser estos bienes rivales en consumo pero no haber exclusión para su consumo se producen problemas de sobreexplotación como en el caso de la pesca. El libre acceso impide explotar eficientemente el recurso. El casillero 4 por su parte, presenta el caso de los bienes públicos. Por ejemplo, los bomberos son un servicio para al cual no existe rivalidad (no cuesta nada proteger un hogar más) y que difícilmente puede excluir a alguien de sus servicios. A pesar de ello, pocos contribuyen a su financiamiento y los que no pagan igual se benefician con ellos.

¿Puede en este último caso esperarse que el mercado asigne de manera eficiente los bienes públicos?. Lamentablemente, no, como se verá en el siguiente ejemplo. Supongamos que dos individuos tienen una demanda (que pueden ser diferentes) por diversidad ecológica (biodiversidad). La persona A valora más ésta que el individuo B. La demanda en cada caso se observa en el siguiente gráfico.

¿Cuál es la curva de demanda de Mercado de biodiversidad? La suma vertical de las curvas de demanda individuales. Esto a diferencia de las curvas de demanda tradicionales que se suman horizontalmente.

¿Porqué se suman verticalmente? Debido a la indivisibilidad en el consumo. Si la demanda de Biodiversidad es Q , se está dispuesto a pagar $P_a + P_b$ por tenerla. Esto debido a que Q estará disponible para ambos.

Figura 2.7.



De esta forma la curva de demanda por bienes públicos solo refleja, para una cantidad fija del bien, el precio que están dispuestos a pagar los consumidores. Para el caso de un bien privado, el individuo por lo general enfrenta un precio y luego elige cuanto comprar.

¿Y cuál será la asignación eficiente de biodiversidad? Debe ser aquella que maximiza los beneficios netos.

Si el costo de proveer de biodiversidad es constante e igual a C , entonces la asignación que maximiza los beneficios netos es Q^* .

¿Por qué no nos lleva el mercado a este nivel?. Un ejemplo permite ilustrar el punto. Supongamos que se hace una colecta para proteger la biodiversidad. Llegan primero a B solicitándole su colaboración y él decide contribuir. ¿Cuánto?. Hasta que maximice sus beneficios netos en q_b . Luego se le solicita colaborar a A. ¿Cuánto más compra? La diferencia que falta para llegar a su nivel óptimo: $q_a - q_b$. Pero con ello no se llega a la cantidad óptima Q^* , si no sólo a q_a . Luego se llega a una cantidad menor a la óptima.

¿Por qué sucede esto? Cada persona tiene el incentivo a actuar como "polizón" (Freerider) sobre lo que ha contribuido el otro. Debido a que el consumo de un bien público es indivisible y no excluible, los consumidores reciben los beneficios de la diversidad que resulta de lo pagado POR OTROS (esto no sucede con bienes privados). Como resultado, el incentivo de cada individuo para contribuir al óptimo social disminuye.

Caben conclusiones adicionales:

- (1) La cantidad de biodiversidad provista es mayor que cero. El punto es que es menor a la óptima.
- (2) Es extremadamente complicado corregir esta distorsión. La asignación eficiente requeriría cobrar precios diferentes a cada consumidor: P_a^* y P_b^* .

Esto permitiría recolectar $C \cdot Q^* = P_a^* \cdot Q^* + P_b^* \cdot Q^*$. Sin embargo esto implica que cada consumidor debe revelar exactamente lo que está dispuesto a pagar. Y pueden no estar dispuestos a hacerlo para así beneficiarse como "polizones". Como resultado el regulador no sabría cuánto cobrar. En el ejemplo anterior, A puede beneficiarse declarando estar dispuesto a pagar menos que P_a^* .

3. ENFOQUES PARA LA PROTECCIÓN DEL MEDIO AMBIENTE

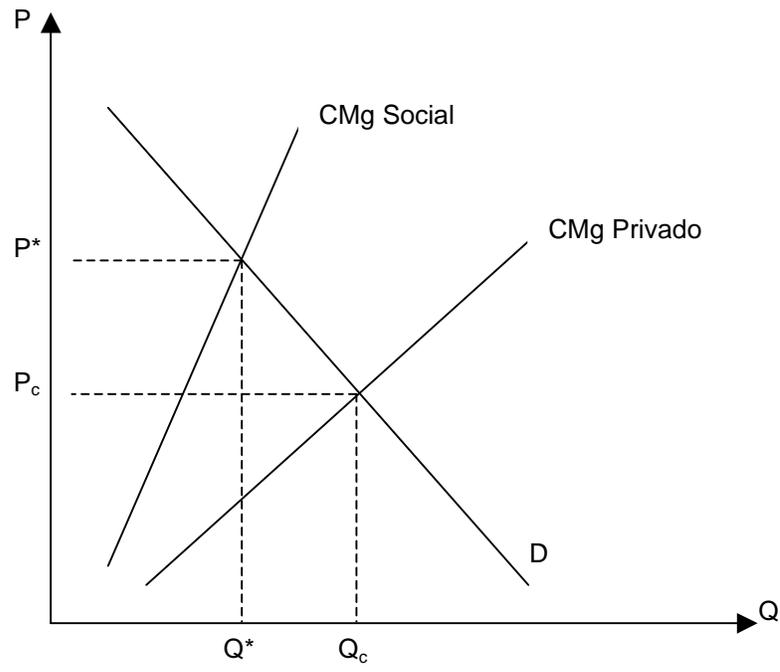
Examinamos continuación tres enfoques para la protección del medio ambiente. Estos se aplican en situaciones diferentes y conviene por ello analizarlos por separado.

3.1. EL ANÁLISIS COSTO - BENEFICIO

En la sección 2.3. se determinó el nivel óptimo de contaminación a partir de los beneficios y costos marginales asociados a producir una cierta cantidad del producto q . Veamos ahora el comportamiento de esta firma en el mercado. Por una parte su curva de costos marginales (costo marginal privado) define su oferta. Por otro, existe una demanda D por el bien que produce.

Como resultado produce Q_c en equilibrio y cobra P_c , como se observa en la figura 3.1.

Figura 3.1.



Si la firma no genera costos externos a la sociedad, entonces este equilibrio será eficiente con el sentido de que maximiza el beneficio neto de la sociedad.

Por cierto que si se produce una externalidad que implica un cierto costo externo a la sociedad, este resultado no será el óptimo. Por ello, en la curva de costo marginal social se ha agregado, a los costos marginales privados, los daños (valorados en unidades monetarias) que genera cada unidad del bien producido. En este caso el beneficio neto se maximiza en Q^* , P^* . Al producir en Q_c , la firma competitiva está reduciendo el beneficio neto de la sociedad y claramente:

- (1) Produce en exceso con respecto al óptimo
- (2) Por ello contamina en exceso
- (3) El precio del producto responsable de la contaminación es bajo
- (4) No hay incentivos para reducir la contaminación

Esto es un problema y más adelante se verá qué debe hacer el regulador para enfrentarlo.

La forma en que se ha examinado hasta ahora el problema de externalidades ha asumido que para reducir la contaminación es necesario reducir la producción del bien que la origina. Esto, por lo general no es el caso. Por ejemplo una fundición puede instalar filtros y capturar emisiones fugitivas reduciendo así sus emisiones sin reducir su producción.

Por ello una forma alternativa de examinar el criterio de Costo - Beneficio se hará vía la figura 3.2. En la abscisa se ubica la Cantidad del Contaminante Emitido (en kilos por día de PM-10 por ejemplo) en vez de la cantidad del producto que se produce. Con ello se puede definir el Costo de Control Marginal -el costo por unidad de emisiones reducida- para la fuente y la correspondiente

curva de costos de daño marginal de las emisiones a la sociedad. Claramente se obtiene un nivel de emisiones óptima e^* como resultado.

En ausencia de regulación la fuente emitirá e_0 .

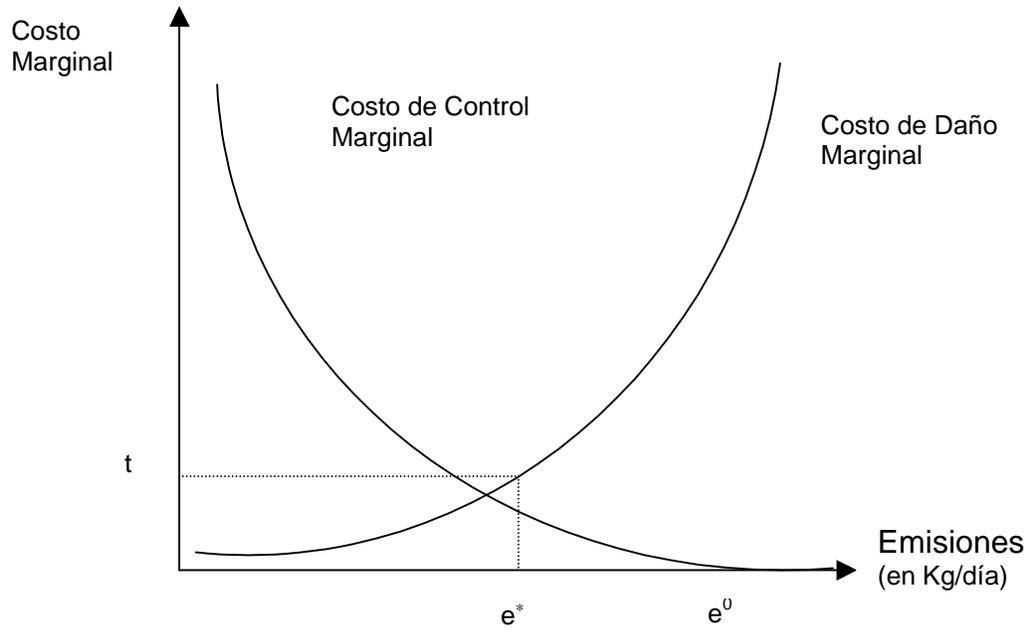
¿Qué puede hacer la autoridad para lograr el nivel eficiente de emisión? Una posibilidad es limitar las emisiones de la firma a e^* .

Otra posibilidad es cobrar un impuesto por unidad de emisión que aumente siguiendo la curva de daño o una impuesta fijo igual al daño social marginal en el óptimo. Con ello se internaliza el costo para la firma del daño que provoca. En ambos casos a la firma le convendrá producir sólo e^* como se discutirá más adelante. El impuesto para corregir una externalidad como la señalada se conoce como impuesto Pigouviano.

En el primer caso a la autoridad sólo hace falta conocer la función de daño. En el segundo caso en cambio deberá conocer tanto esta función como los costos de reducción de la firma.

Por cierto lo anterior impone una carga de información sustancial sobre el regulador: debe conocer al menos los daños y en algunos casos los costos de las firmas a regular. A modo de ejemplo de lo difícil que puede ser esto se presenta en los cuadros siguientes una estimación de los costos asociados la reducción de contaminación en agua y aire para los Estado Unidos; ¡Estas estimaciones difieren en un orden de magnitud!

Figura 3.2



3.2. **EL ENFOQUE DE DERECHOS DE PROPIEDAD** (ó Enfoque Coasiano)

COASE (1960) examinó el camino de los "números pequeños" en el cual hay pocos agentes involucrados en la generación de la externalidad y pocos afectados por ella. Para examinar la proposición de Coase, es útil utilizar un análisis gráfico.

Ejemplo : Contaminación del aire, por ejemplo, un fumador y una víctima. Por tanto, el modelo contempla 2 Agentes: un contaminador P y una víctima V. La figura 3.3 presenta el BMNP para el fumador y el daño marginal para la víctima.

Beneficios en 1985 de aplicar BPT y BAT/RCT en Agua en Estados Unidos

(en miles de millones de dólares de 1984)

Categoría	Rango	Estimación más Razonable
Recreación		
Pesca de agua dulce	\$ 0.7 - 2.1	\$ 1.5
Pesca Deportiva	0.1 - 4.5	1.5
Navegación	1.5 - 3.0	2.2
Natación	0.3 - 0.5	1.5
Caza Acuática	0.0 - 0.5	0.2
Subtotal	<u>2.6 - 13.1</u>	<u>6.9</u>
Beneficios de No - Uso		
Estéticas, Ecológico y	0.7 - 5.9	1.8
Valor de la Propiedad		
Pesca Comercial	0.6 - 1.8	1.2
Otros Usos		
Agua Potable/Salud	0.0 - 3.0	1.5
Costos de Tratamiento	0.9 - 1.8	1.3
Municipal	0.2 - 0.7	0.4
Hogares	0.7 - 1.4	0.9
Insumos Industriales	<u>1.8 - 6.9</u>	<u>4.1</u>
Subtotal	\$ 5.7 - 27.7	\$ 14.0
Total		

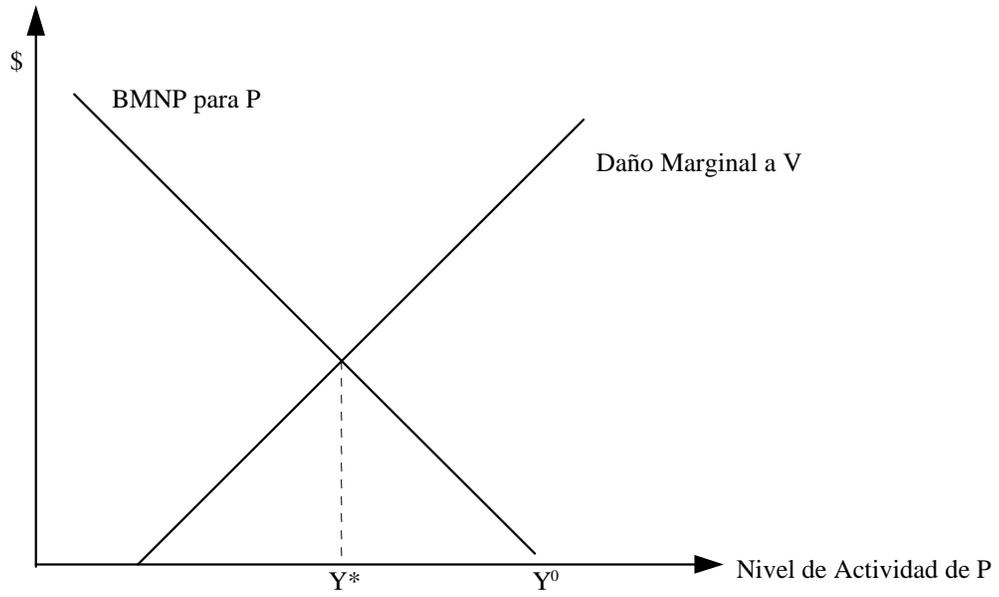
Fuente: Amyrick Freeman III Air and Water Pollution Control: A Benefit-Cost Assesment (New York Wiley 1982) table N-3 p.161 and table 9-1 p. 170

Beneficios en 1978 de Mejorar la calidad del Aire entre 1970 y 1978 (en miles de millones de dólares 1984)

Categoría de Beneficios	Fuentes Fijas (TSP, SO ₂)		Fuentes Móviles (O ₃ , CO, NO ₂)		Total	
	Rango	Estimación más Razonable	Rango	Estimación más Razonable	Rango	Estimación más Razonable
Salud	\$5.0 - 64.1	\$27.2	\$0.0 - 0.6	\$0.0	\$5.0 - 64.9	\$27.2
Limpieza	1.6 - 4.8	4.8			1.6 - 9.6	4.8
Vegetación	0.0	0.0	0.2 - 0.6	0.5	0.2 - 0.6	0.5
Materiales	0.6 - 1.8	1.1	0.0 - 0.5	0.0	0.6 - 2.3	1.1
Valor de la Propiedad	1.4 - 11.0	3.7	0.0 - 3.2	0.0	1.4 - 14.2	3.7
Total	8.6 - 86.7	36.8	0.2 - 4.9	0.5	8.8 - 91.6	37.3

Fuente: A Myrick Freeman II, *Air and Water Pollution Control: A Benefit-Cost Assessment*, (New York, Wiley 1982) p. 128

Figura 3.3.



Del gráfico, ¿cuál es el óptimo? Y^* es el óptimo.

La pregunta es ¿se logrará en ausencia de intervención del regulador, por ejemplo si no se aplica un impuesto u obliga al fumador a fumar sólo Y^* ?

Corresponde que sí. Si hay negociaciones sin costo entre P y V entonces:

(1) el resultado óptimo se logrará siempre que alguno de los dos tenga el derecho de propiedad respectiva.

(2) No importa de quien sea este derecho.

En síntesis, de acuerdo a esta visión la externalidad se origina en la ausencia de una clara definición de los derechos de propiedad (sobre el aire limpio por ejemplo).

Como resultado Externalidad se puede visualizar como un problema de falta ó inexistencia de algún mercado. Así, mientras el enfoque pigouviano, visto en la sección anterior, se concentra en los supuestos técnicos que eliminan la posibilidad de externalidades, el enfoque coasiano se concentra en la violación de los supuestos sobre mercados: Asume que alguno no existe (no sólo que no es competitivo).

Pigou se concentra en buscar las formas de acercar los Costos Sociales y privados aceptando que existe una imperfección en el mercado: A partir de ello propone instrumentos correctivos.

Coase se concentra en explicar porque existe esta imperfección y en las formas de superarla.

¿Y qué propone el Enfoque Coasiano?

- Definir los derechos de propiedad claramente
- Asegurar que éstos derechos se ejerzan efectivamente por quien los posee. Este es el único rol del regulador.

¿Cómo funciona este enfoque?

En este ejemplo hay 2 posibilidades

- (1) "Cero responsabilidad" donde el derecho de propiedad la tiene el que contamina P.
- (2) "Plena responsabilidad" donde el derecho de propiedad lo tiene la víctima: V

¿Qué sucede en el caso (1) en ausencia de negociaciones?

Producirá en Y₀, pues maximiza el beneficio neto privado total.

Pero V estará dispuesto a hacer "pagos colaterales" (sidepayments) a P de modo de reducir los impactos negativos.

¿Cuánto estará dispuesto a pagar V?. Se puede analizar a partir de la figura 3.4.

- Los Daños Totales adicionales a V al tener un nivel de actividad Y_0 con respecto a Y^* , son $A + B$. Por tanto estaría, dispuesto a pagar algo menos que $A + B$ y con ello estaría mejor (es decir su bienestar sería mayor) que en el nivel Y_0 .

¿Cuánto deberá recibir P?

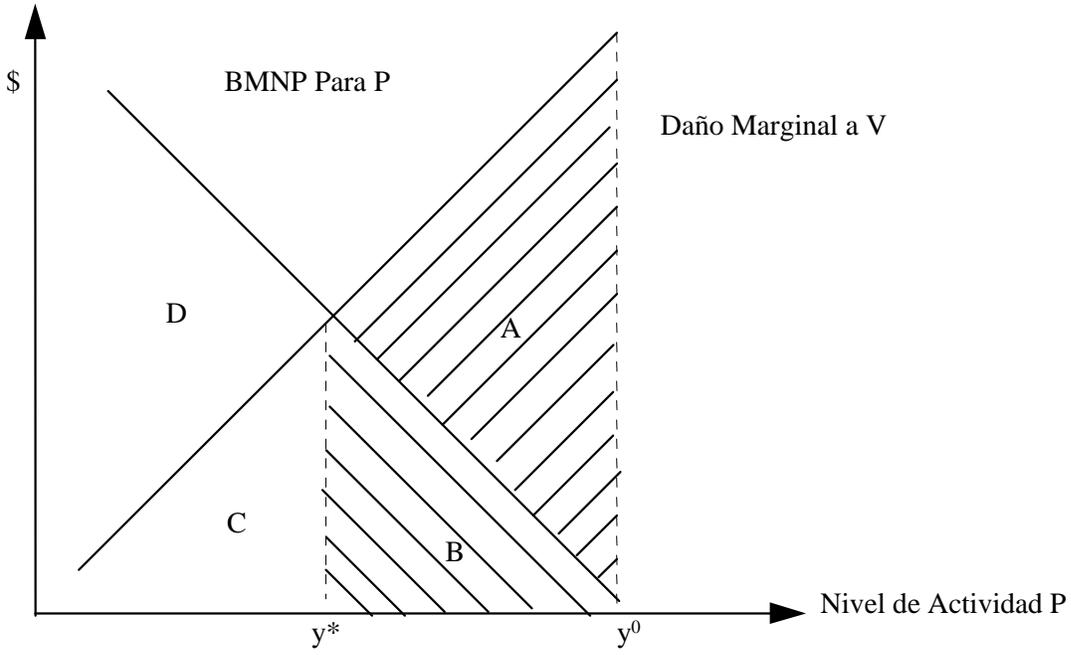
- Los beneficios de producir en Y_0 (y no en Y^*) son B, luego estaría dispuesto a producir en Y^* solo si recibe algo más que B como compensación.

Luego, el proceso de negociación llevará a V a pagar algún valor entre B y $A + B$ a P.

Pagar por lograr cualquier valor menor a Y^* producirá "pérdidas" a V por tanto este aceptará hacer pagos colaterales para incentivar a P a llegar al nivel de actividad óptimo Y^* .

El resultado para el caso (2) es similar. El nivel óptimo para V, dueña del recurso, en ausencia de pagos colaterales es cero. En este caso P estará dispuesto a hacer pagos colaterales a V para producir en $Y > 0$ (se sugiere hacer este análisis gráfico como ejercicio).

Figura 3.4.



¿Cuánto pagará P?

P Pagará hasta $D+C$

V Exigirá al menos C

Luego el pago colateral será algún valor (a negociar) entre C y $D + C$.

Cualquier valor sobre Y^* le genera pérdidas a P, luego no está dispuesto a pagar.

En conclusión los potenciales beneficios mutuos del intercambio promoverán la creación de los mercados respectivos.

¿Qué sucede en la práctica?. Hay 2 obstáculos.

1. **Comportamiento Estratégico de los involucrados.**

Si hay dos o más víctimas, entonces puede ser difícil lograr que una de ellas revele su preferencia. Puede argumentar que para ella no tiene valor la reducción de contaminación en la esperanza de que los demás sí paguen. Pero si varios hacen lo mismo no se compensará suficientemente al que contamina y como resultado se contaminará en exceso.

2. **Costos de Transacción**

Al haber muchos afectados que generan la externalidad, se hace costoso manejar el proceso de negociación. El número de pagos colaterales crece exponencialmente y los costos de hacerlo probablemente serán mayores a los beneficios a obtener.

Esta es precisamente la ventaja de los mercados, entregan información sobre los precios en forma directa y (casi) sin costo. Luego son una gran economía de costos. No se requiere negociar el precio cada vez que se compra.

El enfoque de COASE puede ser apropiado sólo si hay pocos agentes y éstos pueden llegar a acuerdos.

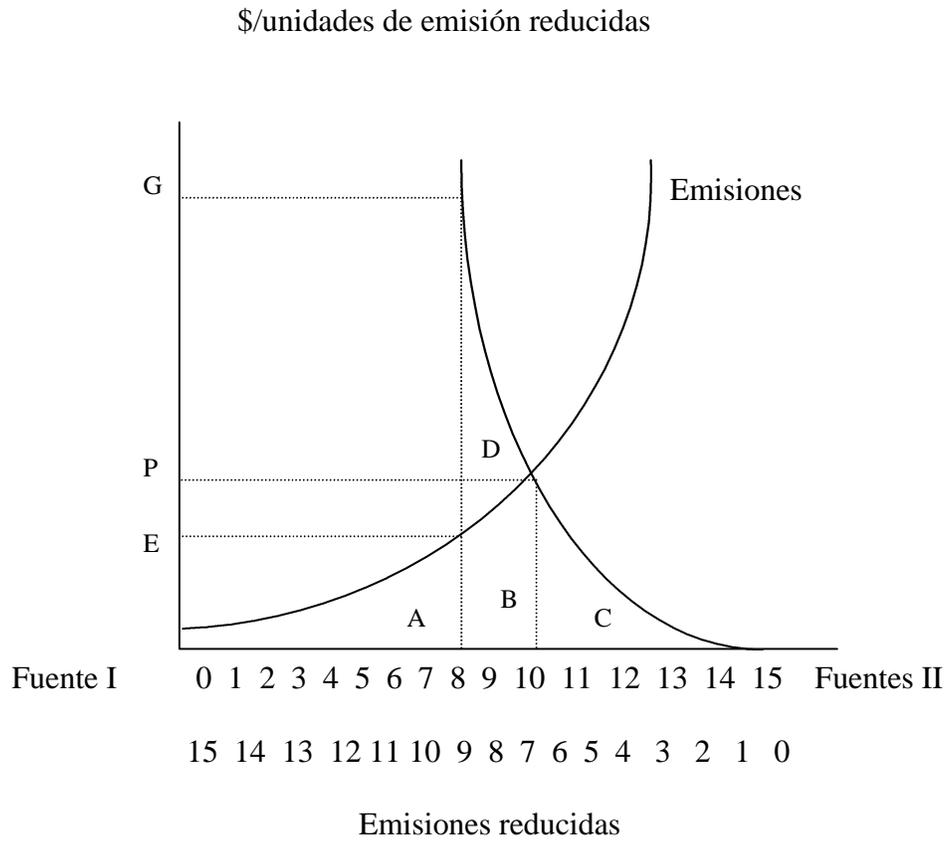
3.3. **POLÍTICAS COSTO - EFECTIVAS**

¿Cómo puede el regulador establecer las reducciones requeridos si los requerimientos de información son tan significativos e inciertos como los señalados al final de la sección 3.1? La respuesta consiste en determinar el nivel de contaminación meta por consideraciones distintas a las económicas. Pueden ser de salud o simplemente por acuerdo político. Una vez definida las meta, el problema se reduce a identificar las políticas más apropiadas -es decir de menor costo- para lograrlas. Este es precisamente el criterio de costo - efectividad.

Considérese el siguiente ejemplo. Se tienen dos fuentes emisoras I y II, y se asumirá que inicialmente cada fuente emite $e^i = 16$ unidades de modo que el total de emisiones es de 32 unidades. Si se fija una meta de emisión total de 17 unidades, las fuentes deberán reducir en su conjunto 15 unidades. ¿Cuál es la reducción costo-efectiva, es decir de mínimo costo? La respuesta puede visualizarse a partir de la figura 3.5. En ésta, el origen de la curva de costo marginal de reducción para la fuente I (MC1) es el eje izquierdo, y el origen para la curva de costo marginal de reducción de la fuente II (MC2) es el eje derecho. Nótese que la reducción deseada de 15 unidades se obtiene en cada punto de este gráfico. Dibujada así, esta figura representa todas las asignaciones posibles para

reducir 15 unidades entre ambas fuentes. Por ejemplo, si se impone que la fuente I reduzca en 8 unidades sus emisiones y la fuente II en 7 unidades se obtiene la reducción deseada de 15 unidades (punto E en la figura). ¿Cuánto es el costo de reducir estas quince unidades con esta asignación? Para la fuente I el costo variable es el área A. Para la fuente II el costo variable es el área B+C+D. El costo variable total entonces es de $A + B + C + D$.

Figura 3.5: Costo - efectividad de un sistema de permisos de emisión



La pregunta clave ahora es si es posible lograr esta misma reducción a un costo menor. La respuesta es afirmativa: en el punto P, con la fuente I reduciendo 10 unidades y la fuente II reduciendo 5 unidades, el costo variable total de reducción es sólo de $A+B+C$. ¿Qué ha pasado? La fuente para la que es más costoso reducir (fuente II) reduce menos y la fuente I, para quien reducir es menos costoso hace un esfuerzo de reducción mayor. Con ello se evita obligar a la fuente II hacer inversiones de alto costo y se aprovecha en cambio que para la fuente I reducir una cantidad mayor es relativamente menos costoso. Este proceso llega a un equilibrio al igualarse los costos marginales de reducción, como sucede en P. Si se impone que la fuente I reduzca más de 10 unidades, es fácil comprobar que el costo variable total de reducción es mayor que $A+B+C$.

En conclusión es deseable que las actividades de abatimiento se hagan de tal manera que -en el equilibrio- los costos marginales de reducción sean iguales en cada fuente.

4. INSTRUMENTOS COSTOS EFECTIVOS PARA REGULAR LA CONTAMINACIÓN

La proposición final del capítulo anterior -que los costos marginales de reducción deben igualarse para minimizar el costo total de cumplir con la meta- puede servir de base para elegir entre los instrumentos que dispone el regulador. Veremos tres alternativas, uso de estándares de emisión impuestos y permisos transables.

4.1. ESTÁNDARES DE EMISIÓN

Un instrumento utilizado típicamente es la aplicación de estándares de emisión diferentes a cada fuente. Este corresponde a un enfoque de regulación directa, es decir no existen incentivos de carácter económico que lleven a la firma a cumplir con los estándares. Lo hace por imposición legal. En el ejemplo de la sección anterior, es claro que los dos estándares deben sumar las 17 unidades autorizadas. Sin embargo no es fácil determinar como asignar estas emisiones a cada fuente. En ausencia de la información sobre costos, el regulador podría sugerir que cada fuente reduzca aproximadamente lo mismo, por ejemplo a la fuente I puede exigírsele reducir 8 unidades y a la fuente II, 7 unidades. De la figura 3.5, es claro que ello no sería costo - efectivo. Si bien la firma I tiene costos menores, la fuente II debe gastar fuertes sumas para reducir lo solicitado.

Al utilizarse estándares de emisión, no hay razón para creer que el regulador será capaz de asignar las reducciones de manera costo - efectiva. Simplemente no tiene la información de costos requeridos para ello.

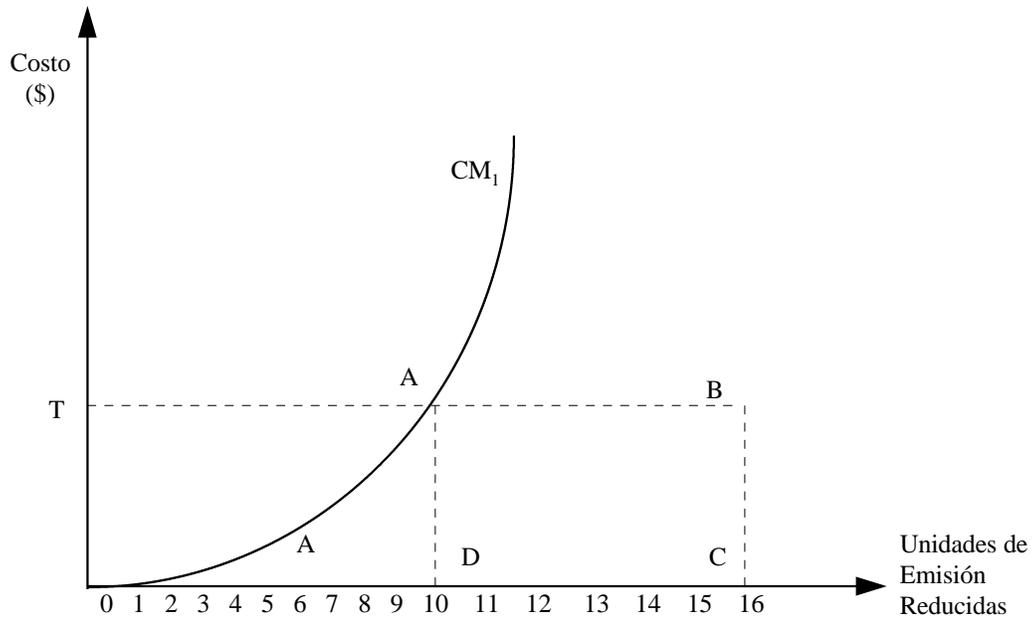
Sin embargo hay instrumentos que, aún en ausencia de información sobre costos, permiten lograr la asignación costo - efectiva.

4.2. **IMPUESTOS A LAS EMISIONES**

Un impuesto a las emisiones es un cargo, cobrado por el Estado, a cada unidad de contaminante emitido al aire o agua. El pago total que cualquier fuente hará es simplemente la multiplicación de este cargo por las unidades de contaminante emitido. Los impuestos -a diferencia de estándares de emisión- reducen la contaminación porque emitir le cuesta dinero a la firma. Para ahorrarse este pago, las firmas buscan formas de reducir sus emisiones.

¿Cuánto emitirá la firma frente a un impuesto t por cada unidad de emisión? Una firma que maximiza sus utilidades preferiría controlar, en vez de emitir, contaminantes siempre que ello le resulte mas barato. Esto se puede ilustrar con la figura 3.5. El nivel de emisiones original es de 16 unidades y el impuesto a cobrar es t . Si la firma decide no controlar pagara $t \times 16$, el área otbc.

Figura 4.1. Uso de Impuesto



¿Es esto lo que le conviene? No, ya que puede controlar parte de sus emisiones a un costo inferior que pagando el impuesto. De hecho a la firma le conviene reducir emisiones siempre que el costo marginal de hacerlo sea inferior al impuesto. Por ello la firma reducirá emisiones hasta el punto en que el costo marginal iguala el impuesto. Esto sucede al reducir la firma 10 unidades de emisión con lo que continúa emitiendo 6 unidades del contaminante. En esta asignación la firma pagaría OAD por sus costos de abatimiento y además pagaría en impuestos por las 6 unidades emitidas un total de ABCD. El costo total es OABC, muy inferior a OtBC.

Llevemos esto un paso más allá. Supongamos que se aplica el mismo impuesto $t = P$ a cada una de las fuentes de la Figura 3.5. Cada fuente controlaría sus emisiones hasta que su costo marginal iguala a t . La fuente II en este caso, reduciría 5 unidades, ¡precisamente la asignación costo-efectiva! Debido a que ambas enfrentan el mismo impuesto, ambas elegirán independientemente un nivel de emisiones que iguala los costos marginales.

Este es un resultado extraordinario. Se ha demostrado que siempre que se cobra igual impuesto a ambas fuentes se logrará minimizar el costo para la sociedad de lograr la meta buscada. Además esto es independiente de que el regulador conozca o no los costos de reducción de cada firma.

¿Cómo determina el regulador el nivel t óptimo del impuesto que permite reducir 15 unidades si no conoce los costos de reducción de cada fuente? La respuesta es que debe seguir un proceso iterativo de prueba y error. Debe elegir un nivel de impuesto arbitrario y ver cuánto reducen las fuentes. Si reducen menos de lo esperado, entonces es claro que el impuesto es muy bajo. Por el contrario, si se reduce más de las 15 unidades deseadas, se habrá aplicado un impuesto muy alto y en el siguiente período será necesario reducirlo.

4.3. **PERMISOS DE EMISIÓN TRANSABLES**

¿Será posible encontrar la asignación costo - efectiva sin pasar por el proceso de prueba y error? La respuesta es afirmativa, por medio del uso de permisos de emisión transables mediante el cual se fija un límite máximo a las emisiones en un período de tiempo (por ejemplo número de toneladas por día) equivalente a E^* . En este caso el diseño del permiso se denomina sistema de permisos de emisión (SPE) precisamente porque la variable regulada es el total de emisiones E^* . Este total de emisiones corresponde al total requerido para que se cumpla con la norma de calidad establecida en toda la cuenca a proteger.

Luego, a cada fuente se le entrega una cantidad inicial de permisos q_j^0 tal que $\sum q_j^0 = E^*$. Esto define el total inicial de emisiones autorizadas a cada fuente. Estos permisos son transables de modo que si una fuente desea emitir más que lo autorizado por los permisos que posee, deberá comprarle permisos a otra firma dispuesta a venderlos. En general cada fuente deberá calcular si le conviene comprar permisos al precio que se establezca, reducir emisiones hasta cumplir con la meta asignada, o reducir en exceso y vender el excedente de permisos. Se puede demostrar que bajo estas condiciones se cumple que un SPE es costo efectivo, es decir se logra que en el equilibrio se iguallen los costos marginales de reducción de emisiones. Además, el precio de cada permiso es único e igual a este costo marginal. Para el caso de dos fuentes de la figura 3.5, este precio será igual a P .

Por ejemplo, para el caso descrito en la figura 3.5 si la asignación inicial de permisos es de 8 para la fuente I y 9 para la fuente II, entonces la fuente I deberá reducir en 8 unidades sus emisiones (bajando así de 16 a 8 unidades) y la fuente II en 7 unidades (bajando de 16 a 9 unidades). Esto equivale a la situación descrita en el punto E de la figura. Sin embargo, si el precio de cada permiso es de P , entonces la fuente I estará dispuesta a vender a ese precio permisos equivalente a dos unidades, pues

recibe $2P$ y le cuesta menos que esto hacer las reducciones (le cuesta $E + P$). En cambio la fuente II estará dispuesta a comprar esos permisos gastando $2P$, pues podrá seguir emitiendo esas dos unidades que de otra forma se vería obligada a reducir a un costo superior a $2P$. Con ello se llega al punto de mínimo costo de reducción P .

Este resultado es extremadamente poderoso: para contaminantes que se distribuyen de manera uniforme se logra la asignación costo-efectiva de emisiones sin que el regulador tenga conocimiento alguno de los costos de abatimiento de cada fuente. Lo único que debe hacer el regulador es definir el total de reducciones requeridas para llegar a cumplir con las normas de calidad del aire. La decisión final respecto de cuanto reducir se deja a las fuentes mismas, que disponen de la mejor información respecto de las tecnologías es independiente de la asignación inicial de permisos y requiere solamente que las fuentes de contaminación sean agentes que minimizan sus costos y que efectivamente se genere un mercado.

4.4 CONTAMINANTES NO UNIFORMEMENTE DISTRIBUIDOS³

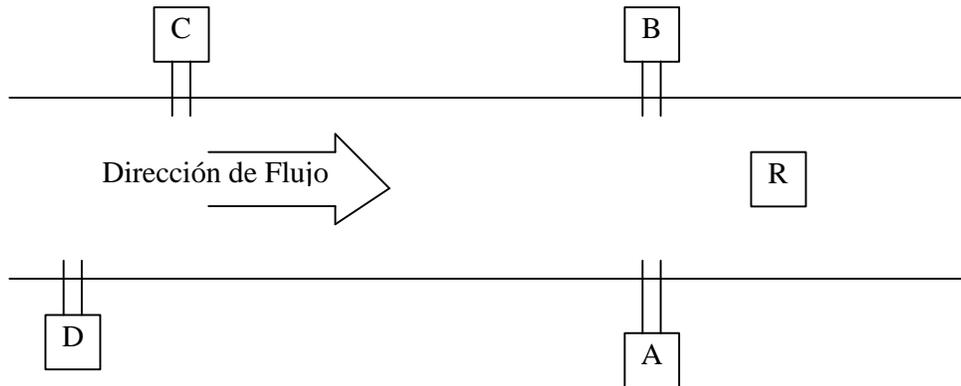
El problema de regulación se complica si los contaminantes no están uniformemente distribuidos. En este caso se hace necesario considerar la localización de la fuente emisora además de la cantidad de emisión. Se estudia entonces la concentración de contaminantes en el aire (suelo o agua), definida como la cantidad de contaminante por unidad de volumen, medida en un determinado lugar y tiempo. Dado que el daño causado por los contaminantes está relacionado con la concentración⁴, es natural que la búsqueda de políticas costo-efectivas de control apunte a alcanzar **standards ambientales**, definidos como límites admisibles de concentración de contaminantes específicos en aire, suelo o agua.

Una política costo-efectiva tiene como resultado la mínima asignación de costos de control para alcanzar standards ambientales pre-determinados en localidades específicas, denominadas **receptores**.

³ Basado en: Tom Tietenberg, *Environmental and Natural Resources Economics*, Tercera edición, 1992 pp. 376-382.

⁴ La concentración es un indicador de la exposición de un organismo al daño provocado por los contaminantes en el ambiente.

Fig. 4.2 Influencia de la localización en la concentración local de contaminantes.



Supongamos que, hipotéticamente, se permita a cada una de las fuentes emisoras de la figura 4.2 vaciar individualmente cada una 10 unidades de emisión al río, en distintos instantes de tiempo, y que la concentración resultante se mide en el receptor R. Podemos esperar que las emisiones de A y B se reflejarán en mayores concentraciones registradas en R que las de C y D no obstante que la emisión es idéntica, debido a la diferente oportunidad de dilución.

El objetivo de fondo es controlar las emisiones pero la orientación e intensidad de la política está guiada por las concentraciones en R. ¿Cómo se relacionan concentración y emisión? Para esto es necesario desarrollar un **coeficiente de transferencia** (a_i) que corresponde a la razón de las variaciones de concentración, registrada en el receptor, con respecto a la variación de las emisiones en la fuente. En la práctica se considera constante para cada par (emisor, receptor) y se puede, entonces establecer la siguiente relación:

$$K_R = \sum_{y=1}^I a_i E_i + B$$

en que K_R representa la concentración medida en el receptor, proveniente de cada una de las emisiones E_i , para el total de fuentes y controlado en la región. B corresponde al nivel de concentración de línea base (background) en el receptor y puede ser generado por fuentes naturales o por fuentes antropogénicas fuera de la región de control.

Veamos un ejemplo del cálculo de la asignación costo-efectiva de responsabilidad de control para dos fuentes que, por simplicidad que no incide en el razonamiento, tienen idénticas curvas de costo marginal de reducción de emisiones. La diferencia estriba en que el coeficiente de transferencia de ambas fuentes es distinto. El cuadro 4.3 ilustra el procedimiento de cálculo. Nótese la diferencia entre las columnas 4 y 6 que reflejan la diferencia de los coeficientes de transferencia de las fuentes ($a_1 = 1.0$, $a_2 = 0.5$).

Cuadro 4.3 Costo-Efectividad para contaminantes no uniformemente distribuidos

Unidades de emisión reducida	Costo marginal de reducción de emisiones (\$/u)	Fuente 1 ($a_1=1,0$)		Fuente 2 ($a_2=0,5$)	
		Unidades de concentración reducidas (1)	Costo marginal de reducción de concentración (1)	Unidades de concentración reducidas (2)	Costo marginal de reducción de concentración (2)
1	1	1.0	1.0	0.5	2.0
2	2	2.0	2.0	1.0	4.0
3	3	3.0	3.0	1.5	6.0
4	4	4.0	4.0	2.0	8.0
5	5	5.0	5.0	2.5	10.0
6	6	6.0	6.0	3.0	12.0
7	7	7.0	7.0	3.5	14.0

Supongamos que la concentración en el receptor debe reducirse en 7.5 unidades para cumplir con un standard ambiental. La asignación costo-efectiva se alcanza cuando los costos marginales de reducción de concentración (no reducción de emisiones) se igualan para todas las fuentes. Esto ocurre cuando la fuente 1 reduce 6 unidades de emisión (\rightarrow 6 unidades de concentración) y la fuente 2 reduce 3 unidades de emisión (\rightarrow 1.5 unidades de concentración). Bajo estas condiciones:

- el costo marginal de reducción de concentración es igual para cada fuente (6 \$/u), y
- se alcanza la meta de reducción de concentración en el receptor (7.5 u).

Sumando todos los costos marginales por cada unidad reducida se obtiene el costo total variable de esta asignación de responsabilidad (Área bajo las curvas de costos marginales = $6 \cdot 6 + 3 \cdot 6 = \27). Esto es el mínimo posible.

Este enfoque puede usarse para evaluar las distintas alternativas para regulación. Podemos empezar por un cargo ambiental, cobro utilizado para producir una asignación costo-efectiva para un contaminante no uniformemente distribuido. Este toma la forma:

$$t_i = a_i F$$

en que t_i es el cargo unitario pagado por la fuente y por cada unidad de emisión, a_i es el coeficiente de transferencia para la fuente y F es el costo marginal de reducción de concentración, igual para todas las fuentes. Para el ejemplo estudiado F vale 6 \$/u para la primera fuente y 3 \$/u para la segunda. Nótese que, en general, las fuentes pagarán un cargo distinto cuando el objetivo es alcanzar una meta ambiental a mínimo costo, debido a que los coeficientes de transferencia difieren. Esto contrasta con el caso de distribución uniforme en que todas las fuentes pagan el mismo cargo.

¿Cómo puede el regulador calcular t_i sin tener información sobre los costos de control? Los coeficientes a_i pueden calcularse utilizando conocimientos de meteorología o hidrología pero ¿qué pasa con F ? La similitud con el caso de distribución uniforme de contaminantes es impactante: cualquier F lleva a una asignación de responsabilidad de control costo-efectiva para alcanzar algún nivel de reducción de concentración en el receptor. Pero este nivel puede, sin embargo, no ser compatible con el standard ambiental deseable.

La lógica utilizada anteriormente para el control de contaminantes uniformemente distribuidos, mediante cargos de emisión, se puede aplicar en este caso para así, en un proceso iterativo, alcanzar el standard ambiental.

Es claro que la meta ambiental será más exigente en cuanto a intensidad de información; el regulador será obligado a calcular los coeficientes de transferencia. ¿Cuánto se pierde en eficiencia si se ignora la distinta distribución espacial de emisión de contaminantes? En el ejemplo propuesto, un cargo uniforme de emisión de \$5 alcanzaría la meta de 7.5 unidades reducidas (5 de

la primera fuente y 2.5 de la segunda) pero el costo total subiría a \$30 (\$15 para cada fuente), con un exceso de \$3 sobre la solución alcanzada mediante cargo ambiental.

¿Qué sucede con los permisos? ¿Será posible obviar la iteración en busca del standard para contaminantes no uniformemente distribuidos? La respuesta es afirmativa con la condición que el sistema de permisos sea correctamente diseñado. La “cuota” no es una autorización pareja de emisión al dueño del permiso; es una autorización para subir la concentración medida en el receptor que, en general, determina holguras espacialmente diferenciadas de emisión para las fuentes. En efecto, reescribiendo la ecuación que relaciona fuentes y receptores en forma de diferencias se tiene:

$$\Delta K_R = a_1 \Delta E_i$$

Vemos que, manteniendo ΔK_R constante, las fuentes con alto coeficiente de transferencia (porque están más cerca, por ejemplo) tendrán una menor disponibilidad de permiso de emisión. (Verifique que, bajo la modalidad de sistema de permiso ambiental, el precio del permiso sería de \$6 para el ejemplo expuesto y calcule los permisos de emisión!)