

# The cost-effective choice of policy instruments to cap aggregate emissions with costly enforcement<sup>1</sup>

Marcelo Cafferla - Carlos Chávez

Universidad de Montevideo - Universidad de Concepción

XXIV JORNADAS ANUALES DE ECONOMÍA

Banco Central del Uruguay

06 de Octubre de 2009

---

<sup>1</sup>Agradecemos el financiamiento proporcionado para este trabajo por la ANII - Fondo Clemente Estable 2007 - Proyecto 351

- Somos testigos de la discusión acerca de cómo y cuánto limitar las emisiones de gases de efecto invernadero

# Introducción

- Somos testigos de la discusión acerca de cómo y cuánto limitar las emisiones de gases de efecto invernadero
- Uno de los aspectos más importantes de la discusión refiere a los costos económicos de las distintas alternativas y metas

# Introducción

- Somos testigos de la discusión acerca de cómo y cuánto limitar las emisiones de gases de efecto invernadero
- Uno de los aspectos más importantes de la discusión refiere a los costos económicos de las distintas alternativas y metas
- **Los economistas ambientales hemos estado dando una clara recomendación al respecto por mucho tiempo:**

- Somos testigos de la discusión acerca de cómo y cuánto limitar las emisiones de gases de efecto invernadero
- Uno de los aspectos más importantes de la discusión refiere a los costos económicos de las distintas alternativas y metas
- Los economistas ambientales hemos estado dando una clara recomendación al respecto por mucho tiempo:
  - cuando sea posible, un regulador debe limitar las emisiones mediante un mercado competitivo de permisos de emisión

- Somos testigos de la discusión acerca de cómo y cuánto limitar las emisiones de gases de efecto invernadero
- Uno de los aspectos más importantes de la discusión refiere a los costos económicos de las distintas alternativas y metas
- Los economistas ambientales hemos estado dando una clara recomendación al respecto por mucho tiempo:
  - cuando sea posible, un regulador debe limitar las emisiones mediante un mercado competitivo de permisos de emisión
  - **esto minimiza los costos de alcanzar el límite establecido con requerimientos mínimos de información para el regulador**

- Somos testigos de la discusión acerca de cómo y cuánto limitar las emisiones de gases de efecto invernadero
- Uno de los aspectos más importantes de la discusión refiere a los costos económicos de las distintas alternativas y metas
- Los economistas ambientales hemos estado dando una clara recomendación al respecto por mucho tiempo:
  - cuando sea posible, un regulador debe limitar las emisiones mediante un mercado competitivo de permisos de emisión
  - esto minimiza los costos de alcanzar el límite establecido con requerimientos mínimos de información para el regulador
- **Basados en esta recomendación de política**

- Somos testigos de la discusión acerca de cómo y cuánto limitar las emisiones de gases de efecto invernadero
- Uno de los aspectos más importantes de la discusión refiere a los costos económicos de las distintas alternativas y metas
- Los economistas ambientales hemos estado dando una clara recomendación al respecto por mucho tiempo:
  - cuando sea posible, un regulador debe limitar las emisiones mediante un mercado competitivo de permisos de emisión
  - esto minimiza los costos de alcanzar el límite establecido con requerimientos mínimos de información para el regulador
- Basados en esta recomendación de política
  - **European Union - Emissions Trading Scheme**



- Somos testigos de la discusión acerca de cómo y cuánto limitar las emisiones de gases de efecto invernadero
- Uno de los aspectos más importantes de la discusión refiere a los costos económicos de las distintas alternativas y metas
- Los economistas ambientales hemos estado dando una clara recomendación al respecto por mucho tiempo:
  - cuando sea posible, un regulador debe limitar las emisiones mediante un mercado competitivo de permisos de emisión
  - esto minimiza los costos de alcanzar el límite establecido con requerimientos mínimos de información para el regulador
- Basados en esta recomendación de política
  - European Union - Emissions Trading Scheme
  - Waxman-Markey's American Clean Energy and Security Act

- Somos testigos de la discusión acerca de cómo y cuánto limitar las emisiones de gases de efecto invernadero
- Uno de los aspectos más importantes de la discusión refiere a los costos económicos de las distintas alternativas y metas
- Los economistas ambientales hemos estado dando una clara recomendación al respecto por mucho tiempo:
  - cuando sea posible, un regulador debe limitar las emisiones mediante un mercado competitivo de permisos de emisión
  - esto minimiza los costos de alcanzar el límite establecido con requerimientos mínimos de información para el regulador
- Basados en esta recomendación de política
  - European Union - Emissions Trading Scheme
  - Waxman-Markey's American Clean Energy and Security Act
  - Programa de Compensación de Emisiones de Santiago

## Introducción (cont.)

- Sin embargo, un sistema de permisos transferibles minimiza los costos agregados de abatimiento de emisiones

# Introducción (cont.)

- Sin embargo, un sistema de permisos transferibles minimiza los costos agregados de abatimiento de emisiones
- Pero hay otros costos sociales:

## Introducción (cont.)

- Sin embargo, un sistema de permisos transferibles minimiza los costos agregados de abatimiento de emisiones
- Pero hay otros costos sociales:
  - fiscalizar cumplimiento (inspecciones)

# Introducción (cont.)

- Sin embargo, un sistema de permisos transferibles minimiza los costos agregados de abatimiento de emisiones
- Pero hay otros costos sociales:
  - fiscalizar cumplimiento (inspecciones)
  - sancionar violaciones

## Introducción (cont.)

- Sin embargo, un sistema de permisos transferibles minimiza los costos agregados de abatimiento de emisiones
- Pero hay otros costos sociales:
  - fiscalizar cumplimiento (inspecciones)
  - sancionar violaciones
- La literatura no ha dado todavía una respuesta definitiva sobre la costo - efectividad relativa de un sistema de permisos transferibles versus uno basado en estándares cuando estos costos se tienen en cuenta

# Introducción (cont.)

- Sin embargo, un sistema de permisos transferibles minimiza los costos agregados de abatimiento de emisiones
- Pero hay otros costos sociales:
  - fiscalizar cumplimiento (inspecciones)
  - sancionar violaciones
- La literatura no ha dado todavía una respuesta definitiva sobre la costo - efectividad relativa de un sistema de permisos transferibles versus uno basado en estándares cuando estos costos se tienen en cuenta
  - ha supuesto perfecto cumplimiento, no ha incorporado la costo-efectividad de inducir cumplimiento en la comparación



# Objetivos

- Caracterizar el diseño costo-efectivo de un programa basado en estándares de emisiones, cuando

# Objetivos

- Caracterizar el diseño costo-efectivo de un programa basado en estándares de emisiones, cuando
  - se consideran todos los costos del programa: costos de abatimiento de emisiones (empresas) y costos de monitoreo y sancionamiento (regulador)

- Caracterizar el diseño costo-efectivo de un programa basado en estándares de emisiones, cuando
  - se consideran todos los costos del programa: costos de abatimiento de emisiones (empresas) y costos de monitoreo y sancionamiento (regulador)
  - cuando es y cuando no es óptimo inducir violaciones (lo cual depende de si la multa es creciente o lineal, la que suponemos dada)

- Caracterizar el diseño costo-efectivo de un programa basado en estándares de emisiones, cuando
  - se consideran todos los costos del programa: costos de abatimiento de emisiones (empresas) y costos de monitoreo y sancionamiento (regulador)
  - cuando es y cuando no es óptimo inducir violaciones (lo cual depende de si la multa es creciente o lineal, la que suponemos dada)
- "Endogeneizar" la estructura de la multa para comparar los costos totales esperados de un programa de estándares cuando es y cuando no es costo-efectivo inducir cumplimiento perfecto (Arguedas (2008) lo hace para una firma solamente).

# Objetivos

- Caracterizar el diseño costo-efectivo de un programa basado en estándares de emisiones, cuando
  - se consideran todos los costos del programa: costos de abatimiento de emisiones (empresas) y costos de monitoreo y sancionamiento (regulador)
  - cuando es y cuando no es óptimo inducir violaciones (lo cual depende de si la multa es creciente o lineal, la que suponemos dada)
- "Endogeneizar" la estructura de la multa para comparar los costos totales esperados de un programa de estándares cuando es y cuando no es costo-efectivo inducir cumplimiento perfecto (Arguedas (2008) lo hace para una firma solamente).
- Hacer lo mismo para el caso de los permisos transferibles (Stranlund, 2007, lo hace pero para una forma funcional específica de la multa).

# Objetivos

- Caracterizar el diseño costo-efectivo de un programa basado en estándares de emisiones, cuando
  - se consideran todos los costos del programa: costos de abatimiento de emisiones (empresas) y costos de monitoreo y sancionamiento (regulador)
  - cuando es y cuando no es óptimo inducir violaciones (lo cual depende de si la multa es creciente o lineal, la que suponemos dada)
- "Endogeneizar" la estructura de la multa para comparar los costos totales esperados de un programa de estándares cuando es y cuando no es costo-efectivo inducir cumplimiento perfecto (Arguedas (2008) lo hace para una firma solamente).
- Hacer lo mismo para el caso de los permisos transferibles (Stranlund, 2007, lo hace pero para una forma funcional específica de la multa).
- **Comparar los costos totales de ambos programas óptimamente diseñados**

# ¿Qué encontramos?

- El diseño que minimiza los costos esperados de un programa basado en estándares es uno en que los estándares son firma - específicos y se hacen cumplir perfectamente.

# ¿Qué encontramos?

- El diseño que minimiza los costos esperados de un programa basado en estándares es uno en que los estándares son firma - específicos y se hacen cumplir perfectamente.
- Para cualquier techo de emisiones, ese programa alcanza dicho techo a un costo esperado menor que un programa de permisos transferibles



# ¿Qué encontramos?

- El diseño que minimiza los costos esperados de un programa basado en estándares es uno en que los estándares son firma - específicos y se hacen cumplir perfectamente.
- Para cualquier techo de emisiones, ese programa alcanza dicho techo a un costo esperado menor que un programa de permisos transferibles
  - la distribución de emisiones que genera el programa de permisos minimiza los costos de abatimiento, pero no la suma de éstos y los de monitoreo

# ¿Qué encontramos?

- El diseño que minimiza los costos esperados de un programa basado en estándares es uno en que los estándares son firma - específicos y se hacen cumplir perfectamente.
- Para cualquier techo de emisiones, ese programa alcanza dicho techo a un costo esperado menor que un programa de permisos transferibles
  - la distribución de emisiones que genera el programa de permisos minimiza los costos de abatimiento, pero no la suma de éstos y los de monitoreo
- Esto es cierto también cuando es óptimo inducir violaciones.

- No deberíamos estar recomendando permisos transferibles por costo-efectividad, a no ser que nos estemos refiriendo únicamente a costos de abatimiento

- No deberíamos estar recomendando permisos transferibles por costo-efectividad, a no ser que nos estemos refiriendo únicamente a costos de abatimiento
- Los permisos transferibles aún corren con ventajas de información para el regulador

- No deberíamos estar recomendando permisos transferibles por costo-efectividad, a no ser que nos estemos refiriendo únicamente a costos de abatimiento
- Los permisos transferibles aún corren con ventajas de información para el regulador
- **Recomendación de política para países subdesarrollados: tener programas de control de emisiones que no se cumplen no es costo efectivo (si se puede manipular la estructura de la multa).**

# El comportamiento de una firma bajo un estándar

- Firma  $i$  contaminante neutral al riesgo

# El comportamiento de una firma bajo un estándar

- Firma  $i$  contaminante neutral al riesgo
- $e_i$  es el nivel de emisiones de la firma  $i$

# El comportamiento de una firma bajo un estándar

- Firma  $i$  contaminante neutral al riesgo
- $e_i$  es el nivel de emisiones de la firma  $i$
- $c_i(e_i)$  : la función de costos de abatimiento de la firma  $i$



# El comportamiento de una firma bajo un estándar

- Firma  $i$  contaminante neutral al riesgo
- $e_i$  es el nivel de emisiones de la firma  $i$
- $c_i(e_i)$  : la función de costos de abatimiento de la firma  $i$
- $c_i'(e_i) < 0$  y  $c_i''(e_i) > 0$

# El comportamiento de una firma bajo un estándar

- Firma  $i$  contaminante neutral al riesgo
- $e_i$  es el nivel de emisiones de la firma  $i$
- $c_i(e_i)$  : la función de costos de abatimiento de la firma  $i$
- $c_i'(e_i) < 0$  y  $c_i''(e_i) > 0$
- $s_i$  : estándar. Límite máximo de emisiones que el regulador fija para la firma  $i$

# El comportamiento de una firma bajo un estándar

- Firma  $i$  contaminante neutral al riesgo
- $e_i$  es el nivel de emisiones de la firma  $i$
- $c_i(e_i)$  : la función de costos de abatimiento de la firma  $i$
- $c_i'(e_i) < 0$  y  $c_i''(e_i) > 0$
- $s_i$  : estándar. Límite máximo de emisiones que el regulador fija para la firma  $i$
- $v_i = e_i - s_i > 0$  : violación

# El comportamiento de una firma bajo un estándar

- Firma  $i$  contaminante neutral al riesgo
- $e_i$  es el nivel de emisiones de la firma  $i$
- $c_i(e_i)$  : la función de costos de abatimiento de la firma  $i$
- $c'_i(e_i) < 0$  y  $c''_i(e_i) > 0$
- $s_i$  : estándar. Límite máximo de emisiones que el regulador fija para la firma  $i$
- $v_i = e_i - s_i > 0$  : violación
- La firma enfrenta una probabilidad de ser auditada o inspeccionada  $\pi_i$

# El comportamiento de una firma bajo un estándar

- Firma  $i$  contaminante neutral al riesgo
- $e_i$  es el nivel de emisiones de la firma  $i$
- $c_i(e_i)$  : la función de costos de abatimiento de la firma  $i$
- $c'_i(e_i) < 0$  y  $c''_i(e_i) > 0$
- $s_i$  : estándar. Límite máximo de emisiones que el regulador fija para la firma  $i$
- $v_i = e_i - s_i > 0$  : violación
- La firma enfrenta una probabilidad de ser auditada o inspeccionada  $\pi_i$
- Si el regulador encuentra la firma violando, le impone una multa  $f(v_i)$ . Por el momento asumimos que  $f(v_i) = 0$  para todo  $e_i \leq s_i$ , y  $f'(v_i) > 0$  para todo  $e_i > s_i$ .

# El comportamiento de una firma bajo un estándar (cont.)

- Bajo un sistema de estándares, cada firma  $i$

# El comportamiento de una firma bajo un estándar (cont.)

- Bajo un sistema de estándares, cada firma  $i$



$$\begin{aligned} \min_{e_i} c_i(e_i) + \pi_i f(e_i - s_i) & \quad (1) \\ \text{subject to } e_i - s_i & \geq 0 \end{aligned}$$

# El comportamiento de una firma bajo un estándar (cont.)

- Bajo un sistema de estándares, cada firma  $i$
- 

$$\begin{aligned} \min_{e_i} c_i(e_i) + \pi_i f(e_i - s_i) & \quad (1) \\ \text{subject to } e_i - s_i & \geq 0 \end{aligned}$$

- Elección de emisiones



# El comportamiento de una firma bajo un estándar (cont.)

- Bajo un sistema de estándares, cada firma  $i$
- 

$$\begin{aligned} \min_{e_i} c_i(e_i) + \pi_i f(e_i - s_i) & \quad (1) \\ \text{subject to } e_i - s_i & \geq 0 \end{aligned}$$

- Elección de emisiones
- 

$$e_i = \begin{cases} s_i, & \text{if } -c'_i(s_i) \leq \pi_i f'(0) \\ e_i(s_i, \pi_i) > s_i, & \text{if } -c'_i(s_i) > \pi_i f'(0) \end{cases}$$

# El comportamiento de una firma bajo un estándar (cont.)

- Bajo un sistema de estándares, cada firma  $i$



$$\begin{aligned} \min_{e_i} c_i(e_i) + \pi_i f(e_i - s_i) \\ \text{subject to } e_i - s_i \geq 0 \end{aligned} \quad (1)$$

- Elección de emisiones



$$e_i = \begin{cases} s_i, & \text{if } -c'_i(s_i) \leq \pi_i f'(0) \\ e_i(s_i, \pi_i) > s_i, & \text{if } -c'_i(s_i) > \pi_i f'(0) \end{cases}$$

- Con  $e_i(s_i, \pi_i)$  la solución a  $-c'_i(e_i) = \pi_i f'(e_i - s_i)$

# La condición bajo la cual es costo - efectivo para el regulador inducir cumplimiento

- El objetivo del programa de control de emisiones es ponerle un techo  $E$  a las emisiones agregadas

# La condición bajo la cual es costo - efectivo para el regulador inducir cumplimiento

- El objetivo del programa de control de emisiones es ponerle un techo  $E$  a las emisiones agregadas
- El regulador quiere alcanzar este objetivo al mínimo costo esperado

# La condición bajo la cual es costo - efectivo para el regulador inducir cumplimiento

- El objetivo del programa de control de emisiones es ponerle un techo  $E$  a las emisiones agregadas
- El regulador quiere alcanzar este objetivo al mínimo costo esperado
- Con este objetivo selecciona  $\pi_i$  y el estándar de emisión  $s_i$ , para cada firma  $i$ . (Hay  $n$  firmas)

# La condición bajo la cual es costo - efectivo para el regulador inducir cumplimiento

- El objetivo del programa de control de emisiones es ponerle un techo  $E$  a las emisiones agregadas
- El regulador quiere alcanzar este objetivo al mínimo costo esperado
- Con este objetivo selecciona  $\pi_i$  y el estándar de emisión  $s_i$ , para cada firma  $i$ . (Hay  $n$  firmas)
- Las firmas difieren en sus costos de abatimiento, pero estos no son perfectamente observables para el regulador.

# La condición bajo la cual es costo - efectivo para el regulador inducir cumplimiento

- El objetivo del programa de control de emisiones es ponerle un techo  $E$  a las emisiones agregadas
- El regulador quiere alcanzar este objetivo al mínimo costo esperado
- Con este objetivo selecciona  $\pi_i$  y el estándar de emisión  $s_i$ , para cada firma  $i$ . (Hay  $n$  firmas)
- Las firmas difieren en sus costos de abatimiento, pero estos no son perfectamente observables para el regulador.
- Sin embargo, puede observar el tipo de firma (si es una planta papelera o una curtiembre, por ejemplo), y tiene una distribución de probabilidad sobre las funciones de costos de abatimiento de cada tipo.

# La condición bajo la cual es costo - efectivo para el regulador inducir cumplimiento

- El problema del regulador es:



# La condición bajo la cual es costo - efectivo para el regulador inducir cumplimiento

- El problema del regulador es:

- $$\min_{\substack{(s_1, s_2, \dots, s_n) \\ (\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_n)}} E \left[ \sum_{i=1}^n c_i(e_i) + \mu \sum_{i=1}^n \pi_i + \beta \sum_{i=1}^n \pi_i f(e_i - s_i) \right]$$

# La condición bajo la cual es costo - efectivo para el regulador inducir cumplimiento

- El problema del regulador es:

- $$\min_{\substack{(s_1, s_2, \dots, s_n) \\ (\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_n)}} E \left[ \sum_{i=1}^n c_i(e_i) + \mu \sum_{i=1}^n \pi_i + \beta \sum_{i=1}^n \pi_i f(e_i - s_i) \right]$$

- **sujeito a**

# La condición bajo la cual es costo - efectivo para el regulador inducir cumplimiento

- El problema del regulador es:

- $$\min_{\substack{(s_1, s_2, \dots, s_n) \\ (\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_n)}} E \left[ \sum_{i=1}^n c_i(e_i) + \mu \sum_{i=1}^n \pi_i + \beta \sum_{i=1}^n \pi_i f(e_i - s_i) \right]$$

- sujeto a

- 1)  $\bar{e}_i = e_i(s_i, \pi_i)$

# La condición bajo la cual es costo - efectivo para el regulador inducir cumplimiento

- El problema del regulador es:

- $\min_{\substack{(s_1, s_2, \dots, s_n) \\ (\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_n)}} E \left[ \sum_{i=1}^n c_i(e_i) + \mu \sum_{i=1}^n \pi_i + \beta \sum_{i=1}^n \pi_i f(e_i - s_i) \right]$

- sujeto a

- 1)  $\bar{e}_i = e_i(s_i, \pi_i)$

- 2)  $\sum_{i=1}^n \bar{e}_i(s_i, \pi_i) \leq E$

# La condición bajo la cual es costo - efectivo para el regulador inducir cumplimiento

- El problema del regulador es:

- $$\min_{\substack{(s_1, s_2, \dots, s_n) \\ (\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_n)}} E \left[ \sum_{i=1}^n c_i(e_i) + \mu \sum_{i=1}^n \pi_i + \beta \sum_{i=1}^n \pi_i f(e_i - s_i) \right]$$

- sujeto a

- 1)  $\bar{e}_i = e_i(s_i, \pi_i)$

- 2)  $\sum_{i=1}^n \bar{e}_i(s_i, \pi_i) \leq E$

- 3)  $s_i \leq \bar{e}_i \quad \forall i = 1, \dots, n$

# La condición bajo la cual es costo - efectivo para el regulador inducir cumplimiento

- El problema del regulador es:

- $$\min_{\substack{(s_1, s_2, \dots, s_n) \\ (\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_n)}} E \left[ \sum_{i=1}^n c_i(e_i) + \mu \sum_{i=1}^n \pi_i + \beta \sum_{i=1}^n \pi_i f(e_i - s_i) \right]$$

- sujeto a

- 1)  $\bar{e}_i = e_i(s_i, \pi_i)$

- 2)  $\sum_{i=1}^n \bar{e}_i(s_i, \pi_i) \leq E$

- 3)  $s_i \leq \bar{e}_i \quad \forall i = 1, \dots, n$

- Donde

# La condición bajo la cual es costo - efectivo para el regulador inducir cumplimiento

- El problema del regulador es:

- $$\min_{\substack{(s_1, s_2, \dots, s_n) \\ (\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_n)}} E \left[ \sum_{i=1}^n c_i(e_i) + \mu \sum_{i=1}^n \pi_i + \beta \sum_{i=1}^n \pi_i f(e_i - s_i) \right]$$

- sujeto a

- 1)  $\bar{e}_i = e_i(s_i, \pi_i)$

- 2)  $\sum_{i=1}^n \bar{e}_i(s_i, \pi_i) \leq E$

- 3)  $s_i \leq \bar{e}_i \quad \forall i = 1, \dots, n$

- Donde

- $\mu$  : costo de una inspección

# La condición bajo la cual es costo - efectivo para el regulador inducir cumplimiento

- El problema del regulador es:

- $$\min_{\substack{(s_1, s_2, \dots, s_n) \\ (\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_n)}} E \left[ \sum_{i=1}^n c_i(e_i) + \mu \sum_{i=1}^n \pi_i + \beta \sum_{i=1}^n \pi_i f(e_i - s_i) \right]$$

- sujeto a

- 1)  $\bar{e}_i = e_i(s_i, \pi_i)$

- 2)  $\sum_{i=1}^n \bar{e}_i(s_i, \pi_i) \leq E$

- 3)  $s_i \leq \bar{e}_i \quad \forall i = 1, \dots, n$

- Donde

- $\mu$  : costo de una inspección

- $\beta$  : costo de un peso de multa, ambas iguales para todas las  $i$ , por ahora



# La condición bajo la cual es costo - efectivo para el regulador inducir cumplimiento

- De este problema sale que es costo efectivo para el regulador inducir cumplimiento si

# La condición bajo la cual es costo - efectivo para el regulador inducir cumplimiento

- De este problema sale que es costo efectivo para el regulador inducir cumplimiento si

$$\mu \frac{f''(0)}{f'(0)} \leq \beta f'(0) \quad (2)$$

# La condición bajo la cual es costo - efectivo para el regulador inducir cumplimiento

- De este problema sale que es costo efectivo para el regulador inducir cumplimiento si



$$\mu \frac{f''(0)}{f'(0)} \leq \beta f'(0) \quad (2)$$

- **Proposición 1:** *Cuando la estructura de multas está dada, el diseño costo efectivo de un programa de control de la contaminación que pone un techo a las emisiones agregadas usando estándares de emisiones llama al regulador a inducir cumplimiento con los estándares a todas las firmas  $i$  si y solo si  $\mu \frac{f''(0)}{f'(0)} \leq \beta f'(0)$ . Si esta condición no se cumple, el regulador debe inducir violaciones a los estándares si quiere alcanzar la meta de emisiones de manera costo - efectiva.*

# La condición bajo la cual es costo - efectivo para el regulador inducir cumplimiento

- Misma condición que Arguedas (2008) y Stranlund (2007), para el caso de permisos transferibles.

# Caracterización de un diseño costo efectivo de un programa de estándares cuando las multas están dadas

- Cuando la forma de  $f(\cdot)$  está afuera de la caja de herramientas que el regulador ambiental tiene para diseñar un programa costo-efectivo de estándares la condición (2) se cumple o no.

# Caracterización de un diseño costo efectivo de un programa de estándares cuando las multas están dadas

- Cuando la forma de  $f(\cdot)$  está afuera de la caja de herramientas que el regulador ambiental tiene para diseñar un programa costo-efectivo de estándares la condición (2) se cumple o no.
- Si la condición se cumple, la política costo-efectiva  $(\pi_1^*, \pi_2^*, \dots, \pi_n^*, s_1^*, s_2^*, \dots, s_n^*)$  induce cumplimiento esperado y está caracterizada por

# Caracterización de un diseño costo efectivo de un programa de estándares cuando las multas están dadas

- Cuando la forma de  $f(\cdot)$  está afuera de la caja de herramientas que el regulador ambiental tiene para diseñar un programa costo-efectivo de estándares la condición (2) se cumple o no.
- Si la condición se cumple, la política costo-efectiva  $(\pi_1^*, \pi_2^*, \dots, \pi_n^*, s_1^*, s_2^*, \dots, s_n^*)$  induce cumplimiento esperado y está caracterizada por

1

$$E [c'_i(s_i^*)] + \mu \frac{d\pi_i^*}{ds_i} = E [c'_j(s_j^*)] + \mu \frac{d\pi_j^*}{ds_j}$$

for all  $i \neq j$ ,  $(i, j) = 1, \dots, n$ , y

# Caracterización de un diseño costo efectivo de un programa de estándares cuando las multas están dadas

- Cuando la forma de  $f(\cdot)$  está afuera de la caja de herramientas que el regulador ambiental tiene para diseñar un programa costo-efectivo de estándares la condición (2) se cumple o no.
- Si la condición se cumple, la política costo-efectiva  $(\pi_1^*, \pi_2^*, \dots, \pi_n^*, s_1^*, s_2^*, \dots, s_n^*)$  induce cumplimiento esperado y está caracterizada por

1

$$E [c'_i(s_i^*)] + \mu \frac{d\pi_i^*}{ds_i} = E [c'_j(s_j^*)] + \mu \frac{d\pi_j^*}{ds_j}$$

for all  $i \neq j$ ,  $(i, j) = 1, \dots, n$ , y

2

$$\pi_i^* = \frac{E [-c'_i(s_i^*)]}{f'(0)}$$



# Caracterización de un diseño costo efectivo de un programa de estándares cuando las multas están dadas

- Si la condición **no** se cumple, la política costo-efectiva  $(\pi_1^*, \pi_2^*, \dots, \pi_n^*, s_1^*, s_2^*, \dots, s_n^*)$  induce **no cumplimiento** esperado y está caracterizada por

# Caracterización de un diseño costo efectivo de un programa de estándares cuando las multas están dadas

- Si la condición **no** se cumple, la política costo-efectiva  $(\pi_1^*, \pi_2^*, \dots, \pi_n^*, s_1^*, s_2^*, \dots, s_n^*)$  induce **no cumplimiento** esperado y está caracterizada por
- ① La igualación de los costos marginales de monitoreo entre firmas

# Caracterización de un diseño costo efectivo de un programa de estándares cuando las multas están dadas

- Si la condición **no** se cumple, la política costo-efectiva  $(\pi_1^*, \pi_2^*, \dots, \pi_n^*, s_1^*, s_2^*, \dots, s_n^*)$  induce **no cumplimiento** esperado y está caracterizada por
  - 1 La igualación de los costos marginales de monitoreo entre firmas
  - 2 La igualación de los costos marginales netos de mover el estándar entre firmas

# Caracterización de un diseño costo efectivo de un programa de estándares cuando las multas están dadas

- Si la condición **no** se cumple, la política costo-efectiva  $(\pi_1^*, \pi_2^*, \dots, \pi_n^*, s_1^*, s_2^*, \dots, s_n^*)$  induce **no cumplimiento** esperado y está caracterizada por
  - 1 La igualación de los costos marginales de monitoreo entre firmas
  - 2 La igualación de los costos marginales netos de mover el estándar entre firmas
  - 3 La igualación de los costos/beneficios marginales de monitoreo con los costos/beneficios marginales de mover el estándar para cada firma

# Caracterización de un diseño costo efectivo de un programa de estándares cuando las multas están dadas

- Si la condición **no** se cumple, la política costo-efectiva  $(\pi_1^*, \pi_2^*, \dots, \pi_n^*, s_1^*, s_2^*, \dots, s_n^*)$  induce **no cumplimiento** esperado y está caracterizada por

# Caracterización de un diseño costo efectivo de un programa de estándares cuando las multas están dadas

- Si la condición **no** se cumple, la política costo-efectiva  $(\pi_1^*, \pi_2^*, \dots, \pi_n^*, s_1^*, s_2^*, \dots, s_n^*)$  induce **no cumplimiento** esperado y está caracterizada por

$$\textcircled{1} \quad E [c'_i] + \frac{\mu}{\partial \bar{e}_i / \partial \pi_i} + \frac{\beta f(\bar{e}_i - s_i)}{\partial \bar{e}_i / \partial \pi_i} + \beta \pi_i f'(\bar{e}_i - s_i) =$$
$$E [c'_j] + \frac{\mu}{\partial \bar{e}_j / \partial \pi_j} + \frac{\beta f(\bar{e}_j - s_j)}{\partial \bar{e}_j / \partial \pi_j} + \beta \pi_j f'(\bar{e}_j - s_j)$$

# Caracterización de un diseño costo efectivo de un programa de estándares cuando las multas están dadas

- Si la condición **no** se cumple, la política costo-efectiva  $(\pi_1^*, \pi_2^*, \dots, \pi_n^*, s_1^*, s_2^*, \dots, s_n^*)$  induce **no cumplimiento** esperado y está caracterizada por

$$\textcircled{1} \quad E[c'_i] + \frac{\mu}{\partial \bar{e}_i / \partial \pi_i} + \frac{\beta f(\bar{e}_i - s_i)}{\partial \bar{e}_i / \partial \pi_i} + \beta \pi_i f'(\bar{e}_i - s_i) =$$
$$E[c'_i] + \frac{\mu}{\partial \bar{e}_j / \partial \pi_j} + \frac{\beta f(\bar{e}_j - s_j)}{\partial \bar{e}_j / \partial \pi_j} + \beta \pi_j f'(\bar{e}_j - s_j)$$

$$\textcircled{2} \quad E[c'_i] + \beta \pi_i f'(\bar{e}_i - s_i) \left( \frac{\partial \bar{e}_i / \partial s_j - 1}{\partial \bar{e}_i / \partial s_j} \right) =$$
$$E[c'_j] + \beta \pi_j f'(\bar{e}_j - s_j) \left( \frac{\partial \bar{e}_j / \partial s_j - 1}{\partial \bar{e}_j / \partial s_j} \right)$$

# Caracterización de un diseño costo efectivo de un programa de estándares cuando las multas están dadas

- Si la condición **no** se cumple, la política costo-efectiva  $(\pi_1^*, \pi_2^*, \dots, \pi_n^*, s_1^*, s_2^*, \dots, s_n^*)$  induce **no cumplimiento** esperado y está caracterizada por

$$1 \quad E [c'_i] + \frac{\mu}{\partial \bar{e}_i / \partial \pi_i} + \frac{\beta f(\bar{e}_i - s_i)}{\partial \bar{e}_i / \partial \pi_i} + \beta \pi_i f'(\bar{e}_i - s_i) =$$

$$E [c'_i] + \frac{\mu}{\partial \bar{e}_j / \partial \pi_j} + \frac{\beta f(\bar{e}_j - s_j)}{\partial \bar{e}_j / \partial \pi_j} + \beta \pi_j f'(\bar{e}_j - s_j)$$

$$2 \quad E [c'_i] + \beta \pi_i f'(\bar{e}_i - s_i) \left( \frac{\partial \bar{e}_i / \partial s_j - 1}{\partial \bar{e}_i / \partial s_j} \right) =$$

$$E [c'_j] + \beta \pi_j f'(\bar{e}_j - s_j) \left( \frac{\partial \bar{e}_j / \partial s_j - 1}{\partial \bar{e}_j / \partial s_j} \right)$$

$$3 \quad \frac{\mu}{\partial \bar{e}_i / \partial \pi_i} + \frac{\beta f(\bar{e}_i - s_i)}{\partial \bar{e}_i / \partial \pi_i} = \frac{\mu}{\partial \bar{e}_j / \partial \pi_j} + \frac{\beta f(\bar{e}_j - s_j)}{\partial \bar{e}_j / \partial \pi_j}$$



# El diseño minimizador de los costos esperados de un programa basado en estándares cuando el regulador puede elegir la estructura de la función de multas

- **Proposición 2:** La política costo efectiva  $(s_1^*, s_2^*, \dots, s_n^*, \pi_1^*, \pi_2^*, \dots, \pi_n^*, f^*)$  induce cumplimiento y está caracterizada por

# El diseño minimizador de los costos esperados de un programa basado en estándares cuando el regulador puede elegir la estructura de la función de multas

- **Proposición 2:** La política costo efectiva  $(s_1^*, s_2^*, \dots, s_n^*, \pi_1^*, \pi_2^*, \dots, \pi_n^*, f^*)$  induce cumplimiento y está caracterizada por

$$\textcircled{1} \quad E [c'_i(s_i^*)] + \mu \frac{d\pi_i^*}{ds_i} = E [c'_j(s_j^*)] + \mu \frac{d\pi_j^*}{ds_j} \text{ for all } i = 1, \dots, n, i \neq j,$$

# El diseño minimizador de los costos esperados de un programa basado en estándares cuando el regulador puede elegir la estructura de la función de multas

- **Proposición 2:** La política costo efectiva  $(s_1^*, s_2^*, \dots, s_n^*, \pi_1^*, \pi_2^*, \dots, \pi_n^*, f^*)$  induce cumplimiento y está caracterizada por

- 1  $E [c'_i(s_i^*)] + \mu \frac{d\pi_i^*}{ds_i} = E [c'_j(s_j^*)] + \mu \frac{d\pi_j^*}{ds_j}$  for all  $i = 1, \dots, n, i \neq j,$
- 2  $\pi_i^* = \frac{E[-c'_i(s_i^*)]}{f'(0)},$  y

# El diseño minimizador de los costos esperados de un programa basado en estándares cuando el regulador puede elegir la estructura de la función de multas

- **Proposición 2:** La política costo efectiva

$(s_1^*, s_2^*, \dots, s_n^*, \pi_1^*, \pi_2^*, \dots, \pi_n^*, f^*)$  induce cumplimiento y está caracterizada por

- 1  $E [c'_i(s_i^*)] + \mu \frac{d\pi_i^*}{ds_i} = E [c'_j(s_j^*)] + \mu \frac{d\pi_j^*}{ds_j}$  for all  $i = 1, \dots, n, i \neq j$ ,
- 2  $\pi_i^* = \frac{E[-c'_i(s_i^*)]}{f'(0)}$ , y
- 3  $f(e_i - s_i) = \phi(e_i - s_i) + \frac{\gamma}{2}(e_i - s_i)^2$  for all  $i$ , with  $\phi$  set as high as necessary to induce all firms to comply and  $\gamma$  is set at any value as long as  $\mu\gamma \leq \beta\phi^2$ .

# Caracterización del diseño minimizador de los costos esperados de un programa basado en permisos transferibles cuando las multas están dadas

- El regulador elige  $\pi_i$  y  $\bar{v}_i = \bar{e}_i - \bar{l}_i$  para minimizar los costos totales esperados del programa

# Caracterización del diseño minimizador de los costos esperados de un programa basado en permisos transferibles cuando las multas están dadas

- El regulador elige  $\pi_i$  y  $\bar{v}_i = \bar{e}_i - \bar{l}_i$  para minimizar los costos totales esperados del programa

- $$\min_{\substack{(v_1, v_2, \dots, v_n) \\ (\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_n)}} E \left[ \sum_{i=1}^n c_i(v_i + l_i(p, \pi_i)) + \mu \sum_{i=1}^n \pi_i + \beta \sum_{i=1}^n \pi_i f(v_i) \right]$$

# Caracterización del diseño minimizador de los costos esperados de un programa basado en permisos transferibles cuando las multas están dadas

- El regulador elige  $\pi_i$  y  $\bar{v}_i = \bar{e}_i - \bar{l}_i$  para minimizar los costos totales esperados del programa

- $$\min_{\substack{(v_1, v_2, \dots, v_n) \\ (\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_n)}} E \left[ \sum_{i=1}^n c_i(v_i + l_i(p, \pi_i)) + \mu \sum_{i=1}^n \pi_i + \beta \sum_{i=1}^n \pi_i f(v_i) \right]$$

- sujeto a 
$$\sum_{i=1}^n v_i + l_i(p, \pi_i) \leq E$$

# Caracterización del diseño minimizador de los costos esperados de un programa basado en permisos transferibles cuando las multas están dadas

- Condiciones de caracterización



# Caracterización del diseño minimizador de los costos esperados de un programa basado en permisos transferibles cuando las multas están dadas

- Condiciones de caracterización

1 
$$E [c'_i] + \frac{\mu}{\frac{\partial l_i}{\partial p} \frac{\partial p}{\partial \pi_i} + \frac{\partial l_i}{\partial \pi_i}} + \frac{\beta f(v_i)}{\frac{\partial l_i}{\partial p} \frac{\partial p}{\partial \pi_i} + \frac{\partial l_i}{\partial \pi_i}} = E [c'_j] + \frac{\mu}{\frac{\partial l_j}{\partial p} \frac{\partial p}{\partial \pi_j} + \frac{\partial l_j}{\partial \pi_j}} + \frac{\beta f(v_j)}{\frac{\partial l_j}{\partial p} \frac{\partial p}{\partial \pi_j} + \frac{\partial l_j}{\partial \pi_j}}$$
  
para todo  $i \neq j$

# Caracterización del diseño minimizador de los costos esperados de un programa basado en permisos transferibles cuando las multas están dadas

- Condiciones de caracterización

$$1 \quad E [c'_i] + \frac{\mu}{\frac{\partial l_i}{\partial p} \frac{\partial p}{\partial \pi_i} + \frac{\partial l_i}{\partial \pi_i}} + \frac{\beta f(v_i)}{\frac{\partial l_i}{\partial p} \frac{\partial p}{\partial \pi_i} + \frac{\partial l_i}{\partial \pi_i}} = E [c'_j] + \frac{\mu}{\frac{\partial l_j}{\partial p} \frac{\partial p}{\partial \pi_j} + \frac{\partial l_j}{\partial \pi_j}} + \frac{\beta f(v_j)}{\frac{\partial l_j}{\partial p} \frac{\partial p}{\partial \pi_j} + \frac{\partial l_j}{\partial \pi_j}}$$

para todo  $i \neq j$

$$2 \quad E [c'_i] + \beta \pi_i f'(v_i) = E [c'_j] + \beta \pi_j f'(v_j) \text{ para todo } i \neq j$$

# Caracterización del diseño minimizador de los costos esperados de un programa basado en permisos transferibles cuando las multas están dadas

- Condiciones de caracterización

$$\textcircled{1} \quad E [c'_i] + \frac{\mu}{\frac{\partial l_i}{\partial p} \frac{\partial p}{\partial \pi_i} + \frac{\partial l_i}{\partial \pi_i}} + \frac{\beta f(v_i)}{\frac{\partial l_i}{\partial p} \frac{\partial p}{\partial \pi_i} + \frac{\partial l_i}{\partial \pi_i}} = E [c'_j] + \frac{\mu}{\frac{\partial l_j}{\partial p} \frac{\partial p}{\partial \pi_j} + \frac{\partial l_j}{\partial \pi_j}} + \frac{\beta f(v_j)}{\frac{\partial l_j}{\partial p} \frac{\partial p}{\partial \pi_j} + \frac{\partial l_j}{\partial \pi_j}}$$

para todo  $i \neq j$

$$\textcircled{2} \quad E [c'_i] + \beta \pi_i f'(v_i) = E [c'_j] + \beta \pi_j f'(v_j) \text{ para todo } i \neq j$$

$$\textcircled{3} \quad \frac{\mu + \beta f(v_i)}{\frac{\partial l_i}{\partial p} \frac{\partial p}{\partial \pi_i} + \frac{\partial l_i}{\partial \pi_i}} = \beta \pi_j f'(v_j) \text{ para todo } i$$

# Caracterización del diseño minimizador de los costos esperados de un programa basado en permisos transferibles cuando las multas están dadas

- Suponiendo mercado competitivo de permisos ( $\frac{\partial p}{\partial \pi_i} = 0$ ) :

# Caracterización del diseño minimizador de los costos esperados de un programa basado en permisos transferibles cuando las multas están dadas

- Suponiendo mercado competitivo de permisos ( $\frac{\partial p}{\partial \pi_i} = 0$ ) :

$$\textcircled{1} \quad E [c'_i] + \frac{\mu}{\frac{\partial l_i}{\partial \pi_i}} + \frac{\beta f(v_i)}{\frac{\partial l_i}{\partial \pi_i}} = E [c'_j] + \frac{\mu}{\frac{\partial l_j}{\partial \pi_j}} + \frac{\beta f(v_j)}{\frac{\partial l_j}{\partial \pi_j}}$$

# Caracterización del diseño minimizador de los costos esperados de un programa basado en permisos transferibles cuando las multas están dadas

- Suponiendo mercado competitivo de permisos ( $\frac{\partial p}{\partial \pi_i} = 0$ ) :

$$\textcircled{1} \quad E [c'_i] + \frac{\mu}{\frac{\partial l_i}{\partial \pi_i}} + \frac{\beta f(v_i)}{\frac{\partial l_i}{\partial \pi_i}} = E [c'_j] + \frac{\mu}{\frac{\partial l_j}{\partial \pi_j}} + \frac{\beta f(v_j)}{\frac{\partial l_j}{\partial \pi_j}}$$

$$\textcircled{2} \quad E [c'_i] + \beta \pi_i f'(v_i) = E [c'_j] + \beta \pi_j f'(v_j)$$

# Caracterización del diseño minimizador de los costos esperados de un programa basado en permisos transferibles cuando las multas están dadas

- Suponiendo mercado competitivo de permisos ( $\frac{\partial p}{\partial \pi_i} = 0$ ) :

$$1 \quad E [c'_i] + \frac{\mu}{\frac{\partial l_i}{\partial \pi_i}} + \frac{\beta f(v_i)}{\frac{\partial l_i}{\partial \pi_i}} = E [c'_j] + \frac{\mu}{\frac{\partial l_j}{\partial \pi_j}} + \frac{\beta f(v_j)}{\frac{\partial l_j}{\partial \pi_j}}$$

$$2 \quad E [c'_i] + \beta \pi_i f'(v_i) = E [c'_j] + \beta \pi_j f'(v_j)$$

$$3 \quad \frac{\mu + \beta f(v_i)}{\frac{\partial l_i}{\partial \pi_i}} = \beta \pi_j f'(v_j) \text{ para todo } i$$

- Re-escribiendo 3. como:



# Comparación de costos

- Re-escribiendo 3. como:

- $\frac{\mu + \beta f(v_i)}{\frac{\partial l_i}{\partial \pi_i}} = \beta p$

# Comparación de costos

- Re-escribiendo 3. como:
- $\frac{\mu + \beta f(v_i)}{\frac{\partial l_i}{\partial \pi_i}} = \beta p$
- es posible demostrar que esta condición no se va a cumplir con un único  $p$

# Comparación de costos

- Re-escribiendo 3. como:
- $\frac{\mu + \beta f(v_i)}{\frac{\partial l_i}{\partial \pi_i}} = \beta p$
- es posible demostrar que esta condición no se va a cumplir con un único  $p$
- **Un mercado competitivo de permisos no minimiza costos totales esperados del programa**

# Comparación de costos

- Re-escribiendo 3. como:
- $\frac{\mu + \beta f(v_i)}{\frac{\partial l_i}{\partial \pi_i}} = \beta p$
- es posible demostrar que esta condición no se va a cumplir con un único  $p$
- Un mercado competitivo de permisos no minimiza costos totales esperados del programa
- Esto es independiente de que los  $\mu$  y  $\beta$  difieran o no entre firmas

# Comparación de costos

- Re-escribiendo 3. como:
- $$\frac{\mu + \beta f(v_i)}{\frac{\partial l_i}{\partial \pi_i}} = \beta p$$
- es posible demostrar que esta condición no se va a cumplir con un único  $p$
- Un mercado competitivo de permisos no minimiza costos totales esperados del programa
- Esto es independiente de que los  $\mu$  y  $\beta$  difieran o no entre firmas
- **Por ende, un sistema de permisos transferibles nunca minimiza los costos totales esperados sociales de controlar emisiones.**