



Guía docente para externalidades y regulación

Implementación en el laboratorio, fundamentos teóricos,
evidencia experimental y variantes

Behavioral and Experimental Economics Research Lab
Departamento de Economía



Versión revisada | Octubre de 2026

<https://beer-lab.org/>

Cómo utilizar esta guía

Esta guía acompaña la familia de Externalidades y regulación del Behavioral and Experimental Economics Research Lab del Departamento de Economía del Tecnológico de Monterrey. Está dirigida a docentes de microeconomía, economía pública, economía ambiental, regulación, organización industrial, métodos experimentales y cursos introductorios de economía. No presupone experiencia previa con oTree ni con instrumentos ambientales. La explicación avanza desde la logística de una sesión hasta las predicciones teóricas, la evidencia experimental y los criterios para conducir una discusión responsable.

La familia reúne en una sola aplicación una versión básica y ocho extensiones. Las tres modalidades básicas permiten una ronda, diez rondas con las mismas empresas y diez rondas con reasignación. Las extensiones comparan ausencia de regulación, tecnología exclusivamente sucia, estándar limpio, impuesto pigouviano, subsidio a la tecnología limpia, permisos transferibles, daño oculto y daño incierto. Los elementos comunes se explican una vez; cada variante se documenta después por aquello que cambia y por la pregunta pedagógica que permite aislar.

El docente puede usar el documento de forma operativa, conceptual o modular. Para una clase inmediata, bastan la guía rápida, el capítulo de acceso y uno de los planes de sesión. Para preparar feedback, conviene estudiar el modelo, los puntos de referencia y el informe agregado. Para diseñar una secuencia de varias clases, las notas de discusión y ejercicios permiten conectar la actividad con incidencia distributiva, información, incertidumbre y diseño institucional.

Autor

Esta guía fue preparada por Stanislaio Maldonado, profesor investigador del Departamento de Economía del Tecnológico de Monterrey, Campus Monterrey. Para consultas o sugerencias sobre su contenido, puede contactar al autor en stanislao.maldonado@tec.mx.

Para el docente

Proyecte únicamente el informe agregado y anónimo. No muestre códigos individuales ni relacione decisiones con nombres, matrículas, computadoras o lugares dentro del salón. El informe permanece oculto hasta que el docente decide revelarlo.

Índice general

Cómo utilizar esta guía	i
1. Guía rápida y resultados de aprendizaje	1
1.1. Acceso desde el sitio actualizado del laboratorio	1
1.2. Ficha de la familia	5
1.3. Resultados de aprendizaje	6
1.4. Secuencia mínima	7
2. Acceso, salones y aislamiento de la familia	8
2.1. Del portal al juego	8
2.2. Cuatro salones estables	8
2.3. Crear, monitorear y cerrar	8
3. Experiencia del participante	10
3.1. Portada, reglas e instrucciones	10
3.2. Comprensión y decisión	10
3.3. Resultado y cierre	10
4. Modelo económico y contabilidad	17
4.1. Beneficios y costos	17
4.2. Daño compartido y ganancia	17
4.3. Excedente social y eficiencia	18
5. Predicciones económicas	19
5.1. Ausencia de regulación	19
5.2. Instrumentos de precio y cantidad	19
5.3. Información e incertidumbre	19
6. Versiones y tratamientos	21
6.1. Mapa de configuraciones	21
6.1.1. Básica: una ronda	21
6.1.2. Básica: diez rondas, mismas empresas	21
6.1.3. Básica: diez rondas, reasignación	21
6.1.4. Sin regulación extendida	21
6.1.5. Tecnología sucia	21
6.1.6. Estándar limpio	22
6.1.7. Impuesto pigouviano	22
6.1.8. Subsidio limpio	22
6.1.9. Permisos transferibles	22
6.1.10. Daño oculto	22
6.1.11. Daño incierto	22

7. Literatura y evidencia experimental	25
7.1. De Pigou y Coase al laboratorio	25
7.2. Predicciones y hechos estilizados	25
7.3. Cómo relacionar una sesión con la literatura	26
8. Informe docente e interpretación	27
8.1. Privacidad y momento de revelar	27
8.2. Cómo leer cada elemento	27
9. Planes de clase y guiones de feedback	31
9.1. Clase de cincuenta minutos	31
9.2. Comparación de noventa minutos	31
9.3. Evaluación formativa	31
10. Ejercicios resueltos	33
10.1. Problemas resueltos paso a paso	33
10.1.1. Beneficio de producción	33
10.1.2. Ganancia sin regulación	33
10.1.3. Costo externo marginal	33
10.1.4. Impuesto correctivo	33
10.1.5. Excedente y transferencias	33
10.1.6. Estándar	33
10.1.7. Permisos	34
10.1.8. Daño esperado	34
10.1.9. Tipo uno eficiente	34
10.1.10. Tipo cuatro eficiente	34
11. Notas de discusión para profundizar	35
11.1. La fábrica de cemento junto a una colonia	35
11.2. Dos tecnologías con costos heterogéneos	35
11.3. Impuesto menor que el daño total	36
11.4. Subsidio y presupuesto público	36
11.5. Permisos y asignación inicial	36
11.6. Daño oculto	37
11.7. Daño incierto	37
11.8. Tecnología sucia obligatoria	37
11.9. Estándar de cincuenta por ciento	38
11.10. Aprendizaje en diez rondas	38
11.11. Reasignación de empresas	38
11.12. Equidad y eficiencia	39
12. Datos, exportación y diagnóstico	40
12.1. Variables principales	40
12.2. Problemas frecuentes	40
13. Selección de instrumentos y análisis institucional	41

13.1. Precios frente a cantidades	41
13.2. Heterogeneidad, costo mínimo e incidencia	41
13.3. Información, monitoreo y capacidad administrativa	42
13.4. Innovación y horizonte temporal	42
13.5. De evidencia de aula a recomendación	42
13.6. Límites, ética y extensiones	43
13.7. Lista de control	43
14. Glosario	44

Índice de figuras

1.1. Sitio institucional vigente. Seleccione CLASE en el menú superior para abrir los experimentos docentes. Captura del 7 de octubre de 2026.	2
1.2. Catálogo vigente: busque por título, tema o código JEL. Después localice la tarjeta de esta familia y seleccione idioma y edición. Captura del 7 de octubre de 2026. . .	3
1.3. Demo contiene únicamente las configuraciones de esta familia, en ambos idiomas y ediciones.	4
1.4. Rooms contiene los cuatro salones de esta familia: versiones básica y extendida en español e inglés.	4
1.5. Formulario de creación en la sala básica en español. Compruebe la configuración y el requisito de participantes antes de crear la sesión.	5
2.1. Enlaces de una sesión básica de cuatro empresas.	9
3.1. Inicio de la experiencia en español. Portada y reglas del laboratorio.	11
3.2. Instrucciones actuales de la edición básica, con recursos iniciales y unidades experimentales. Continuación 1/2.	12
3.4. Comprobación actual: el feedback específico explica la respuesta incorrecta y conserva las demás respuestas.	14
3.5. Elección de producción y tecnología.	15
3.6. Feedback privado antes del informe docente. Resultado individual y comunitario de una ronda.	16
3.7. Resumen acumulado y cierre.	16
6.1. Las pantallas preservan estructura y resaltan el parámetro que cambia. Decisión bajo impuesto pigouviano.	23
6.2. Decisión bajo subsidio limpio.	23
6.3. Dos etapas del mercado de permisos. Solicitud de compra o venta.	24
6.4. Asignación y pago después del cruce.	24
8.1. Control docente del momento de feedback. Informe protegido antes de revelar. . . .	27
8.2. Informe básico con resultados agregados.	28
8.3. Informe docente de permisos con comercio, trayectorias y decisiones por tipo. Continuación 1/2.	29

Guía rápida y resultados de aprendizaje

1.1 Acceso desde el sitio actualizado del laboratorio

Comience en <https://beer-lab.org/>. Seleccione **CLASE** en el menú superior; este acceso abre <https://teaching.beer-lab.org/>. En el catálogo **Experimentos en clase**, utilice el buscador para localizar el nombre de la actividad. También puede filtrar por **Tema** o **Código JEL**. Si conserva un filtro de una búsqueda anterior, límpielo antes de buscar otro juego.

La tarjeta de cada familia distingue los accesos **Español** y **English**. La casilla **Mostrar versión extendida** permite seleccionar esa edición antes de seguir el enlace. El idioma del catálogo y el idioma de la sesión son elecciones distintas: confirme ambos. Los estudiantes utilizan la sala indicada por el profesor; el docente prepara y monitorea la sesión desde los accesos administrativos propios de esta familia.



Figura 1.1: Sitio institucional vigente. Seleccione CLASE en el menú superior para abrir los experimentos docentes. Captura del 7 de octubre de 2026.



Figura 1.2: Catálogo vigente: busque por título, tema o código JEL. Después localice la tarjeta de esta familia y seleccione idioma y edición. Captura del 7 de octubre de 2026.

Verificación de recursos, comprensión y participantes

Antes de abrir la sala, revise la configuración elegida y la cantidad de estudiantes presentes. El formulario de creación informa el tamaño de grupo y el mínimo que exige esa configuración. Una actividad individual admite cualquier número positivo; una actividad con interacción debe cumplir el requisito indicado: grupos completos cuando su tamaño es fijo, o un mínimo de integrantes cuando el tamaño es flexible. El requisito puede cambiar entre variantes, por ejemplo al incorporar un tercero o cambiar el tamaño de una institución. Si modifica un parámetro de agrupación, compruebe el requisito de la configuración editada, no solo el número sugerido por la demostración.

En las instrucciones, compruebe que el alumnado pueda identificar qué recibe cada rol, qué puede decidir y cómo se obtiene el resultado. Una cuenta inicial, un presupuesto que se reparte y una ganancia final no son necesariamente la misma cantidad. Remita al panel de recursos y al ejemplo de la modalidad seleccionada; no extrapole una dotación de la versión básica a una variante que modifica cuentas o introduce posiciones adicionales.

ECU significa *Experimental Currency Units*, o unidades de moneda experimental: es la unidad de cuenta de la actividad. Un resultado de 100 ECU no equivale automáticamente a 100 pesos ni a 100 dólares. La conversión depende de la configuración de la sesión. Antes de anunciar un pago, confirme con el laboratorio si hay conversión monetaria, cuál es la tasa y qué decisiones se remuneran. En módulos hipotéticos, describa los montos como resultados de la situación planteada.

Cuando existe una comprobación de comprensión, una respuesta equivocada genera una explicación junto a esa pregunta: identifica la respuesta enviada y la respuesta correcta. Las demás respuestas permanecen en el formulario. Pida al estudiante que vuelva al ejemplo, localice la regla relevante y rehaga el cálculo antes de corregir. No revele respuestas a toda la clase cuando el error es individual y no trate un fallo de comprensión como una decisión económica del juego.

es y regulación — una ronda	Externalidades y regulación / Externalities and Regulation — BEER Lab Seleccione una variante de este juego. Select a version of this game.
es y regulación — 10 rondas, mismas empresas	
es y regulación — 10 rondas, empresas reasignadas	
and Regulation — one round	
and Regulation — 10 rounds, same firms	
and Regulation — 10 rounds, reassigned firms	
es y regulación extendida — sin regulación	
es y regulación extendida — tecnología sucia obligatoria	
es y regulación extendida — estándar de tecnología limpia	
es y regulación extendida — impuesto pigouviano	
es y regulación extendida — subsidio a producción limpia	
es y regulación extendida — permisos transferibles	
es y regulación extendida — daño no cuantificado antes de decidir	
es y regulación extendida — daño ambiental incierto	
ternalities and Regulation — no regulation	
ternalities and Regulation — dirty technology only	
ternalities and Regulation — clean-technology standard	
ternalities and Regulation — Pigouvian tax	
ternalities and Regulation — clean-production subsidy	
ternalities and Regulation — tradable permits	
ternalities and Regulation — damage not quantified before choice	
ternalities and Regulation — uncertain environmental damage	

Figura 1.3: Demo contiene únicamente las configuraciones de esta familia, en ambos idiomas y ediciones.

Rooms

Current rooms:

[ES] Externalidades y regulación
[EN] Externalities and Regulation
[ES] Externalidades y regulación: extendida
[EN] Externalities and Regulation: extended

Figura 1.4: Rooms contiene los cuatro salones de esta familia: versiones básica y extendida en español e inglés.

Room: [ES] Externalidades y regulación

Create a new session

Session Config

[ES] Externalidades y regulación — una ronda

Number of participants

Grupos completos de 4 participantes. Use un múltiplo de 4; mínimo 4.

Create

[Configure session](#) 

App sequence

externalities_regulation_game (10 rounds)

A classroom experiment comparing environmental policy instruments.

Figura 1.5: Formulario de creación en la sala básica en español. Compruebe la configuración y el requisito de participantes antes de crear la sesión.

Descarga de una sesión con varias rondas

Para el docente

Desde la sesión correspondiente, abra **Data** y utilice el enlace de descarga de esa sesión en CSV o CSV para Excel. La exportación general tiene una fila por participante y columnas correspondientes a las distintas rondas. Diez rondas no implican necesariamente diez filas por persona. Cuando la familia ofrece una exportación propia en formato largo, esta puede organizar observaciones por participante y ronda u otra unidad definida por el diseño.

Guarde el archivo original junto con el nombre de la configuración, el código de sesión y el número de rondas activas. Verifique que las columnas de la última ronda activa estén presentes y que los datos correspondan a la sesión elegida. Los espacios vacíos pueden representar rondas no activas, una decisión aún pendiente o un campo que no corresponde a un rol; no los convierta automáticamente en ceros. Para comparar el aprendizaje, conserve la ronda y el grupo además del participante. Comparta en clase solo agregados anónimos, y registre las incidencias de la sesión antes de construir tablas derivadas.

1.2 Ficha de la familia

Aplicación oTree	externalities_regulation_game
Familia del servidor	GAME_FAMILY=externalities
Unidad experimental	Comunidad con cuatro empresas heterogéneas
Decisión	Producción total, unidades limpias y, cuando corresponde, solicitud de permisos
Horizonte	Una o diez rondas
Dotación	40 ECU por empresa y ronda

Daño de referencia	4 ECU por unidad sucia, repartido entre cuatro empresas
Instrumentos	Estándar, impuesto, subsidio, permisos e información sobre daños
Informe docente	Distribuciones, series por ronda, eficiencia y decisiones por tipo de empresa
Propósito	Comparar decisiones de producción, tecnología limpia, daño y bienestar bajo distintas instituciones de regulación ambiental.
Versión básica	una ronda; 10 rondas, mismas empresas; 10 rondas, empresas reasignadas.
Versión extendida	sin regulación; tecnología sucia obligatoria; estándar de tecnología limpia; impuesto pigouviano; subsidio a producción limpia; permisos transferibles; daño no cuantificado antes de decidir; daño ambiental incierto.
Resultado	Beneficio privado, daño ambiental y bienestar total bajo el instrumento seleccionado.
Temas	externalidades; regulación ambiental; contaminación; impuestos pigouvianos; permisos.
Códigos JEL	C92; D62; H23; Q58.

Cuatro empresas producen dentro de una misma comunidad. El beneficio de producción crece a una tasa decreciente; los costos base y las primas de tecnología limpia difieren entre empresas. Cada unidad limpia evita daño pero puede ser costosa. Cada unidad sucia evita el costo adicional de limpieza y genera una pérdida compartida. Esta estructura sencilla hace visible la brecha entre una decisión privada y una evaluación social sin exigir cálculo avanzado durante la actividad.

1.3 Resultados de aprendizaje

Al finalizar, el estudiante debe poder definir una externalidad como un efecto que entra en el bienestar de terceros sin ser plenamente reflejado en la decisión; reconstruir una ganancia privada a partir de beneficio, costos, transferencias y parte del daño; distinguir daño total, daño privado y costo externo; calcular un excedente social que excluye transferencias; identificar la producción y tecnología eficientes para distintos costos; y explicar por qué diferentes instrumentos pueden alcanzar niveles de emisiones similares con distribuciones y costos distintos.

La actividad también entrena competencias de diseño institucional. El estudiante compara reglas de mandato y control con instrumentos de precio y cantidad, evalúa el papel de la heterogeneidad, interpreta información incompleta y reconoce que el comportamiento dinámico puede reflejar aprendizaje. En cursos avanzados, los datos permiten discutir equivalencia de instrumentos, doble dividendo, selección de tasas, asignación inicial de derechos y la diferencia entre eficiencia estática y legitimidad política.

Fundamento teórico

El punto de referencia no es contaminación cero. La asignación eficiente iguala, en el margen, el beneficio social de producir con el costo real de producción, limpieza y daño. Cuando limpiar una unidad cuesta menos que el daño que evita, la tecnología limpia aumenta el excedente; cuando cuesta más, puede ser eficiente tolerar la unidad sucia o reducir producción.

1.4 Secuencia mínima

Reserve entre cuarenta y cinco y sesenta minutos para una configuración y entre ochenta y cien minutos para comparar dos políticas. Dedique diez minutos a acceso e instrucciones, diez a treinta a decisiones, cinco a verificar cierre y al menos veinte a feedback. Antes de revelar el informe, solicite predicciones sobre producción, limpieza, daño y quién gana o pierde. Registrar esas predicciones convierte el informe en una prueba de mecanismos y no solo en una exhibición de cifras.

Acceso, salones y aislamiento de la familia

2.1 Del portal al juego

El recorrido institucional comienza en [portal del BEER Lab](#). Desde la sección de docencia se abre el [catálogo de juegos](#) y se selecciona la tarjeta *Externalidades y regulación*. El dominio propuesto se identifica como [sitio de externalidades](#). Mientras el laboratorio configura DNS y despliegue, la instancia comprobada en esta computadora usa la [demostración local](#). Una dirección localhost solo funciona en el equipo que ejecuta el servidor.

La vista /demo pertenece al docente y contiene exactamente veintidós configuraciones de esta familia: tres básicas en español, tres básicas en inglés, ocho extendidas en español y ocho extendidas en inglés. El aislamiento se logra mediante `GAME_FAMILY=externalities`. Si aparecen confianza, dictador, pesquerías u otra familia, no inicie la sesión: la instancia fue lanzada con una variable incorrecta o sin filtrado.

2.2 Cuatro salones estables

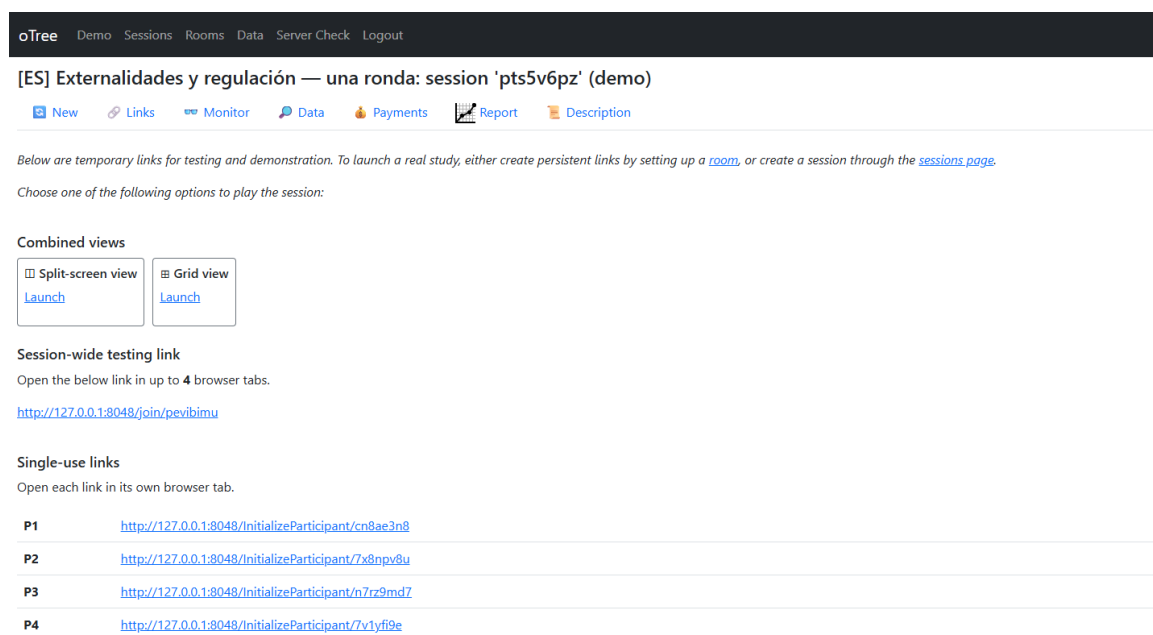
Salón	Ruta	Opciones
Básico ES	/room/externalidades_regulacion_es	3
Basic EN	/room/externalities_regulation_en	3
Extendido ES	/room/externalidades_regulacion_extendida	8
Extended EN	/room/externalities_regulation_extended	8

Comparta con participantes la ruta estable del salón correspondiente. El docente selecciona allí la configuración, escribe un nombre que identifique curso y fecha y fija un número múltiplo de cuatro. Con dieciocho asistentes conviene abrir dieciséis plazas y asignar dos observadores. Un grupo incompleto no puede calcular daño compartido, eficiencia ni mercado de permisos.

2.3 Crear, monitorear y cerrar

Después de crear la sesión, oTree muestra enlaces individuales, Monitor, Data y Report. Para un ensayo abra cada enlace en un perfil privado separado; varias pestañas del mismo perfil comparten cookies. Durante la clase mantenga Monitor y Report en ventanas reservadas al docente. Report muestra primero una barrera de privacidad y solo revela agregados cuando se pulsa el botón

correspondiente.



oTree Demo Sessions Rooms Data Server Check Logout

[ES] Externalidades y regulación — una ronda: session 'pts5v6pz' (demo)

[New](#) [Links](#) [Monitor](#) [Data](#) [Payments](#) [Report](#) [Description](#)

Below are temporary links for testing and demonstration. To launch a real study, either create persistent links by setting up a [room](#), or create a session through the [sessions page](#).

Choose one of the following options to play the session:

Combined views

☐ Split-screen view [Launch](#) ☐ Grid view [Launch](#)

Session-wide testing link

Open the below link in up to 4 browser tabs.

<http://127.0.0.1:8048/join/pevibimu>

Single-use links

Open each link in its own browser tab.

P1	http://127.0.0.1:8048/InitializeParticipant/cn8ae3n8
P2	http://127.0.0.1:8048/InitializeParticipant/7x8npv8u
P3	http://127.0.0.1:8048/InitializeParticipant/n7rz9md7
P4	http://127.0.0.1:8048/InitializeParticipant/7y1yfi9e

Figura 2.1: Enlaces de una sesión básica de cuatro empresas.

Punto de verificación

Antes de distribuir el enlace confirme idioma, edición, tratamiento, número de rondas, modalidad de emparejamiento y número de plazas. Abra un participante de prueba y verifique que la primera pantalla tenga los logotipos institucionales y que Debug info no aparezca.

Experiencia del participante

3.1 Portada, reglas e instrucciones

La portada presenta al BEER Lab, explica el propósito docente y pide aceptar reglas generales: mantener silencio, no conversar, no mirar otras pantallas y solicitar ayuda al personal. La aceptación es obligatoria. Este paso crea una norma común y evita que las instrucciones económicas aparezcan antes de aclarar la conducta dentro del laboratorio.

Las instrucciones muestran el tipo de empresa, costo base y costo adicional de limpieza. La secuencia identifica el momento de producción y, en permisos, el momento de mercado. La fórmula de ganancia aparece en un bloque separado. Un ejemplo resuelto usa una empresa de costo distinto del perfil observado, para enseñar el procedimiento sin sugerir una decisión específica. El texto aclara que las unidades sucias son una representación estilizada y no toneladas de un contaminante real.

3.2 Comprensión y decisión

La comprobación exige calcular el beneficio de cuatro unidades, identificar unidades sucias cuando parte de la producción es limpia y reconocer que el daño se reparte entre cuatro empresas. Las respuestas correctas son treinta y ocho ECU, dos unidades sucias y cuatro empresas afectadas. Si hay error, la pantalla explica la operación y permite corregirla; el objetivo es igualar comprensión antes de observar decisiones, no excluir participantes.

En la decisión, los menús limitan las opciones a valores factibles. Las unidades limpias nunca pueden exceder la producción. El estándar restringe las opciones a una proporción mínima; tecnología sucia fija limpieza en cero; permisos exige que las unidades sucias no superen los derechos finales. La pantalla mantiene visibles los parámetros que importan, pero no calcula automáticamente la mejor respuesta.

3.3 Resultado y cierre

El resultado separa la cuenta de la empresa de la cuenta comunitaria. La columna individual muestra producción, limpieza, suciedad, beneficio, costos, transferencias, parte del daño y ganancia. La columna colectiva reporta producción, daño, excedente y eficiencia. Esta separación es esencial: un instrumento puede elevar ganancia privada mediante una transferencia sin aumentar recursos sociales.



Bienvenidos al BEER Lab

El **Behavioral and Experimental Economics Research Lab** del Departamento de Economía del Tecnológico de Monterrey es un espacio diseñado para aprender sobre la toma de decisiones económicas mediante actividades controladas.



Externalidades y regulación

En esta actividad estudiaremos cómo la producción, la tecnología y distintos instrumentos regulatorios afectan las ganancias privadas, el daño ambiental y el bienestar social.

Durante la sesión

- Mantenga silencio y no converse ni se comunique con otros participantes.
- Tome sus decisiones de forma individual y privada.
- Siga las instrucciones en pantalla. No actualice, cierre ni abandone esta página.
- Si necesita ayuda, levante la mano o contacte en privado al personal del laboratorio.

☐ He leído y comprendido las reglas del laboratorio.

Comenzar

Con tecnología de [oTree](#)

Figura 3.1: Inicio de la experiencia en español. Portada y reglas del laboratorio.



Cuatro empresas operan en una misma comunidad. Cada empresa elige cuántas unidades producir y cuántas producir con tecnología limpia.

Esta sesión no convierte ECU en dinero real.

Cada empresa elige producción y tecnología sin impuesto, subsidio, estándar ni límite de emisiones.

1. Observe sus costos de producción y de tecnología limpia.
2. Si hay permisos, envíe primero una solicitud de compra o venta.
3. Elija producción total y unidades limpias.
4. El sistema calcula unidades sucias, daño, pagos regulatorios y ganancias.
5. Revise el resultado privado y el resultado agregado de la comunidad.

Tipo de empresa	1
Costo base por unidad	1,0 ECU
Costo adicional por unidad limpia	1,0 ECU

Figura 3.2: Instrucciones

El beneficio marginal disminuye: las diez unidades generan 14, 13, 12, ..., 5 ECU. Por ello, el beneficio total de q unidades es $12q - q(q+1)/2$.

$$B(q) = 12q - q(q+1)/2$$

on básica, con recur

Una unidad limpia evita daño ambiental, pero añade el costo de limpieza de su empresa. Una unidad sucia no paga ese costo adicional y genera daño para todo el grupo.

Externalidad

El daño total es el daño por unidad multiplicado por las unidades sucias del grupo. Se reparte por igual entre las cuatro empresas; por ello, cada empresa soporta solo una fracción del daño que genera.

Cada empresa elige producción y tecnología sin impuesto, subsidio, estándar ni límite de emisiones.

Daño por unidad sucia

4,0 ECU

$$\text{ECU} = 40 + \text{beneficio} - \text{costo base} - \text{costo limpio} - \text{impuesto} + \text{subsidio} - \text{pago por permisos} - \text{parte del daño}$$

12

Una empresa con costo base 2 produce 4 unidades, 2 limpias y 2 sucias. Su beneficio es 38 ECU. Antes de regulación y daño, obtiene $40 + 38 - 8 - 4 = 66$ ECU.

Recursos y unidad de cuenta

Dotación inicial de cada participante por ronda: 40 ECU.

ECU significa Experimental Currency Units (unidades de moneda experimental). Es la unidad de cuenta de esta actividad.

Esta sesión no convierte ECU en dinero real.

Sin regulación

Cada empresa elige producción y tecnología sin impuesto, subsidio, estándar ni límite de emisiones.

Secuencia de cada ronda

1. Observe sus costos de producción y de tecnología limpia.
2. Si hay permisos, envíe primero una solicitud de compra o venta.
3. Elija producción total y unidades limpias.
4. El sistema calcula unidades sucias, daño, pagos regulatorios y ganancias.
5. Revise el resultado privado y el resultado agregado de la comunidad.

Su perfil de costos

Tipo de empresa	1
Costo base por unidad	1,0 ECU
Costo adicional por unidad limpia	1,0 ECU

Beneficio de producción

El beneficio marginal disminuye: las diez unidades generan 11, 10, 9, ..., 2 ECU. Por ello, el beneficio total de q unidades es $12q - q(q+1)/2$.

$$B(q) = 12q - q(q+1)/2$$

Tecnología limpia y sucia

Una unidad limpia evita daño ambiental, pero añade el costo de limpieza de su empresa. Una unidad sucia no paga ese costo adicional y genera daño para todo el grupo.

Externalidad

El daño total es el daño por unidad multiplicado por las unidades sucias del grupo. Se reparte por igual entre las cuatro empresas; por ello, cada empresa soporta solo una fracción del daño que genera.

Regla de esta sesión: Sin regulación

Cada empresa elige producción y tecnología sin impuesto, subsidio, estándar ni límite de emisiones.

Daño por unidad sucia

4,0 ECU

$ECU = 40 + \text{beneficio} - \text{costo base} - \text{costo limpio} - \text{impuesto} + \text{subsidio} - \text{pago por permisos} - \text{parte del daño}$

Ejemplo resuelto

Una empresa con costo base 2 produce 4 unidades, 2 limpias y 2 sucias. Su beneficio es 38 ECU. Antes de regulación y daño, obtiene $40 + 38 - 8 - 4 = 66$ ECU.

Las cifras son una adaptación docente. Las unidades sucias representan emisiones estilizadas y no toneladas de un contaminante real.

Continuar

Con tecnología de [oTree](#)

Figura 3.3: Instrucciones actuales de la edición básica, con recursos iniciales y unidades experimentales. Continuación 2/2.



Revisa las preguntas señaladas. Cada una muestra tu respuesta y la explicación; las demás respuestas se conservan.



Ronda 1 de 1

Comprobación de comprensión

Responda las tres preguntas. Puede corregir sus respuestas si comete un error.

Recursos y unidad de cuenta

ECU significa Experimental Currency Units (unidades de moneda experimental). Es la unidad de cuenta de esta actividad.

Esta sesión no convierte ECU en dinero real.

¿Cuál es el beneficio total de producir 4 unidades?

39.0

ECU

Tu respuesta: 39. La respuesta correcta es 38. Revise el ejemplo: el beneficio suma las cuatro primeras unidades, las unidades sucias son producción menos unidades limpias y el daño se comparte entre cuatro empresas.

Si produce 4 unidades y 2 son limpias, ¿cuántas son sucias?

2

unidades

¿Cuántas empresas soportan una parte del daño total?

4

empresas

Continuar

Con tecnología de oTree

Figura 3.4: Comprobación actual: el feedback específico explica la respuesta incorrecta y conserva las demás respuestas.

**Ronda 1 de 1**
Decisión de producción
Elija su producción total y cuántas unidades serán limpias. Las demás serán sucias.

Sin regulación Cada empresa elige producción y tecnología sin impuesto, subsidio, estándar ni límite de emisiones.

Costo base por unidad
1,0 ECU

Costo adicional por unidad limpia
1,0 ECU

Producción total
Seleccione la producción ▼

Unidades limpias
Seleccione las unidades limpias ▼

Las unidades limpias no pueden superar la producción total.

Confirmar producción

Con tecnología de [oTree](#)

Figura 3.5: Elección de producción y tecnología.



Ronda 1 de 1

Resultado de la ronda

Revise cómo su decisión y las decisiones del grupo determinaron ganancias, daño y bienestar.

Resultado de su empresa

Producción total	6
Unidades limpias	1
Unidades sucias	5
Beneficio de producción	51,0 ECU
Costo base	6,0 ECU
Costo de tecnología limpia	1,0 ECU
Su parte del daño	24,0 ECU
Ganancias de la ronda	60,0 ECU

Resultado de la comunidad

Producción del grupo	30
Unidades limpias del grupo	6
Unidades sucias del grupo	24
Daño total	96,0 ECU
Excedente social	37,0 ECU
Eficiencia respecto del máximo	41,6%

[Ver resumen final](#)

Con tecnología de [oTree](#)

Figura 3.6: Feedback privado antes del informe docente. Resultado individual y comunitario de una ronda.



Actividad completada

Sus decisiones fueron registradas. Espere las instrucciones del docente.

ECU acumuladas
60,0 ECU

Producción acumulada
6

Unidades limpias
acumuladas
1

Unidades sucias
acumuladas
5

Daño total de sus
grupos
96,0 ECU

El docente podrá revelar resultados agregados sin identificar a participantes.

Con tecnología de [oTree](#)

Figura 3.7: Resumen acumulado y cierre.

Modelo económico y contabilidad

4.1 Beneficios y costos

Cada empresa elige producción q entre cero y diez. El beneficio es $B(q)=12q-q(q+1)/2$. Los beneficios marginales de las diez unidades son once, diez, nueve, ocho, siete, seis, cinco, cuatro, tres y dos ECU. La concavidad evita una solución trivial en la que siempre se produce el máximo y permite que costos y política muevan la decisión en el margen.

$$B(q) = 12q - \frac{q(q+1)}{2}.$$

Los cuatro tipos tienen costos base por unidad de uno, dos, tres y cuatro ECU. Sus costos adicionales por unidad limpia son uno, dos, cuatro y seis ECU. Si una empresa produce q unidades y limpia c , las unidades sucias son $d=q-c$. El costo real es $kq+ac$, donde k es costo base y a es prima limpia. Esta heterogeneidad genera diferencias tanto en escala eficiente como en ventaja comparativa para abatir.

4.2 Daño compartido y ganancia

Con daño h por unidad sucia, el daño total del grupo es h por la suma de d . Cada empresa pierde una cuarta parte. La ganancia privada añade la dotación de cuarenta ECU, resta costos y parte del daño, y suma o resta pagos de la política. En el escenario base h vale cuatro. Una unidad sucia propia reduce la ganancia de quien decide en una ECU y reduce en tres ECU la suma de ganancias de las otras empresas. Esa diferencia es la externalidad marginal.

$$\pi_i = 40 + B(q_i) - k_i q_i - a_i c_i - T_i + S_i - P_i - \frac{h \sum_j d_j}{4}.$$

T representa impuestos, S subsidios y P el pago neto por permisos, positivo para compradores y negativo para vendedores. Esos términos importan para incentivos y distribución, pero son transferencias dentro del excedente social. La dotación también se excluye del bienestar porque solo evita ganancias negativas en la interfaz. Mantener esta distinción previene la interpretación errónea de que recaudar impuestos destruye automáticamente valor o que entregar subsidios lo crea.

4.3 Excedente social y eficiencia

$$W = \sum_i [B(q_i) - k_i q_i - a_i c_i] - h \sum_i d_i.$$

El máximo de W se calcula exactamente para los cuatro perfiles y para el daño realizado. Con h igual a cuatro, el tipo uno produce diez unidades todas limpias; el tipo dos produce ocho limpias; el tipo tres produce cinco limpias; y el tipo cuatro produce cuatro unidades sucias. Los excedentes individuales máximos son cuarenta y cinco, veintiocho, diez y seis ECU. El máximo de grupo es ochenta y nueve ECU. La eficiencia reportada divide el excedente observado entre este benchmark, con límites interpretativos cuando el excedente puede ser negativo.

El caso del tipo cuatro ilustra por qué contaminación cero no es sinónimo de eficiencia. Limpiar cuesta seis y evita un daño de cuatro. Para las primeras unidades, producir sucio todavía genera beneficio neto; limpiar destruiría más recursos de los que preserva. Una política puede justificar objetivos adicionales, precaución o restricciones tecnológicas, pero el benchmark obliga a declarar qué criterio se usa.

Fundamento teórico

La tasa pigouviana del juego es tres ECU por unidad sucia, no cuatro. La empresa ya soporta una ECU de su propio daño mediante la pérdida compartida. El impuesto añade el costo externo impuesto a los otros tres integrantes y hace que el costo marginal privado coincida con el social.

Predicciones económicas

5.1 Ausencia de regulación

Una empresa que toma las decisiones ajenas como dadas internaliza solo una cuarta parte del daño. Para una unidad sucia compara beneficio marginal con costo base más una ECU de daño propio. Para una unidad limpia compara el mismo beneficio con costo base más prima limpia. Cuando limpiar cuesta más que esa pérdida privada, tenderá a elegir tecnología sucia aun cuando la limpieza ahorre daño social. La producción agregada será demasiado alta o demasiado sucia respecto del benchmark.

La predicción es condicional, no una descripción psicológica de egoísmo. La interfaz incluye el daño propio, por lo que incluso un maximizador monetario responde parcialmente. Participantes pueden limpiar más por preferencias sociales, normas ambientales, errores, aversión al riesgo o deseo de coordinación. El informe permite comparar el patrón con el benchmark sin atribuir una motivación única.

5.2 Instrumentos de precio y cantidad

Un impuesto de tres ECU eleva el costo percibido de una unidad sucia hasta el costo social. Bajo información completa y maximización monetaria, induce la combinación eficiente sin ordenar qué empresa debe limpiar. Un subsidio de tres ECU por unidad limpia crea una diferencia similar entre tecnología limpia y sucia, pero puede estimular producción total porque reduce el costo neto de unidades limpias. Su equivalencia con un impuesto depende del margen de entrada, presupuesto, línea de base y otras características ausentes en el modelo simple.

Un estándar de cincuenta por ciento garantiza una proporción mínima de limpieza en cada empresa. Puede ser fácil de explicar y verificar, pero ignora diferencias de costos y restringe de la misma manera a tipos heterogéneos. Los permisos fijan cantidad agregada de emisiones mediante derechos. Con intercambio, una empresa de alta prima limpia puede comprar permisos a una de baja prima, reduciendo el costo de alcanzar el tope. El juego usa un mercado bilateral a precio anunciado para mantener la mecánica transparente.

5.3 Información e incertidumbre

En daño oculto, el parámetro verdadero es cuatro pero no se anuncia hasta después de elegir. La decisión no puede evaluarse como si el participante hubiera conocido ese valor. En daño incierto, cero u ocho ocurren con la misma probabilidad, de modo que el valor esperado es cuatro. Un agente neutral al riesgo que maximiza utilidad esperada del dinero puede usar ese valor; uno averso

al riesgo puede preferir más limpieza o menos producción porque el daño afecta la ganancia de manera común.

La incertidumbre también crea riesgo correlacionado: todas las empresas del grupo enfrentan la misma realización. La diversificación dentro del grupo no elimina la pérdida ambiental. La comparación con daño conocido sirve para discutir información pública, valor de monitoreo y la diferencia entre riesgo cuantificado e ignorancia sobre el parámetro.

Versiones y tratamientos

6.1 Mapa de configuraciones

6.1.1 Básica: una ronda

Cuatro empresas toman una decisión sin regulación. Es la opción más limpia para introducir externalidad, distinguir cuentas privada y social y obtener una distribución transversal. Evita aprendizaje y reputación, pero una sola realización puede reflejar error. Use una predicción escrita antes de decidir y dedique tiempo al cálculo de una observación.

6.1.2 Básica: diez rondas, mismas empresas

Las cuatro personas permanecen juntas. Permite observar aprendizaje, estabilización, reciprocidad indirecta y respuestas al daño del grupo. No hay comunicación explícita. Compare primeras y últimas rondas y evite tratar las cuarenta decisiones como independientes.

6.1.3 Básica: diez rondas, reasignación

Los grupos se recomponen en cada ronda. La comparación con grupos fijos debilita historia común y facilita discutir difusión de estrategias. El tipo de costo permanece con cada participante; por tanto, cambio de grupo no significa cambio tecnológico.

6.1.4 Sin regulación extendida

Replica el entorno base durante diez rondas con grupos fijos y sirve de control para las demás extensiones. Ejecútela cuando se necesite una referencia contemporánea con la misma duración y tamaño de sesión.

6.1.5 Tecnología sucia

Elimina la opción de limpieza. Aísla reducción de escala como única respuesta ambiental y muestra el valor de disponibilidad tecnológica. Es útil antes de discutir innovación inducida o prohibiciones tecnológicas.

6.1.6 Estándar limpio

Exige que al menos la mitad de la producción sea limpia. Permite discutir cumplimiento, rigidez, heterogeneidad y diferencia entre estándares de desempeño y tecnología. La interfaz impide elegir combinaciones no permitidas.

6.1.7 Impuesto pigouviano

Cobra tres ECU por unidad sucia. El participante ve la tasa y el pago en resultados. Compare cambios en suciedad, producción, recaudación y eficiencia; recuerde que la recaudación es transferencia en la medida de bienestar.

6.1.8 Subsidio limpio

Paga tres ECU por unidad limpia. Compare la mezcla tecnológica y la posible expansión de producción. Discuta línea de base, costo presupuestario, adicionalidad y por qué un subsidio puede pagar acciones que habrían ocurrido sin apoyo.

6.1.9 Permisos transferibles

Entrega tres permisos iniciales y permite comprar o vender hasta tres a precio de tres ECU. Solicitudes se casan solo con contrapartes. Después de la asignación, unidades sucias no pueden superar permisos finales. Discuta tope, comercio y distribución de rentas.

6.1.10 Daño oculto

Oculto el valor cuatro hasta resultados. Permite estudiar decisión bajo información ambiental incompleta y el valor de divulgación. No compare elecciones con conocimiento completo sin reconocer el cambio informativo.

6.1.11 Daño incierto

Anuncia una distribución con daño cero u ocho equiprobable y revela la realización después de decidir. Sirve para separar daño esperado de riesgo y para discutir precaución, aprendizaje y shocks comunes.

Ronda 1 de 10

 **Decisión de producción**
Elija su producción total y cuántas unidades serán limpias. Las demás serán sucias.

Impuesto pigouviano Cada unidad sucia paga 3 ECU, el daño marginal que recae sobre las otras tres empresas.

Costo base por unidad
1,0 ECU

Costo adicional por unidad limpia
1,0 ECU

Impuesto
3,0 ECU/unidades

Producción total
Seleccione la producción ▼

Unidades limpias
Seleccione las unidades limpias ▼

Las unidades limpias no pueden superar la producción total.

Confirmar producción

Con tecnología de [oTree](#)

Figura 6.1: Las pantallas preservan estructura y resaltan el parámetro que cambia. Decisión bajo impuesto pigouviano.

Ronda 1 de 10

 **Decisión de producción**
Elija su producción total y cuántas unidades serán limpias. Las demás serán sucias.

Subsidio a producción limpia Cada unidad limpia recibe 3 ECU. El subsidio reduce el costo privado de limpiar, pero no limita la producción total.

Costo base por unidad
1,0 ECU

Costo adicional por unidad limpia
1,0 ECU

Subsidio
3,0 ECU/unidades

Producción total
Seleccione la producción ▼

Unidades limpias
Seleccione las unidades limpias ▼

Las unidades limpias no pueden superar la producción total.

Confirmar producción

Con tecnología de [oTree](#)

Figura 6.2: Decisión bajo subsidio limpio.

Ronda 1 de 10

Mercado de permisos

Un permiso autoriza una unidad sucia. Solicite comprar o vender; una solicitud se ejecuta solo si existe una contraparte.

Permisos transferibles Cada empresa recibe tres permisos y puede comprar o vender hasta tres a un precio anunciado de 3 ECU.

Permisos iniciales 3	Costo de limpiar una unidad 1,0 ECU	Precio por permiso 3,0 ECU
--------------------------------	---	--------------------------------------

Su solicitud

Vender 3

Enviar solicitud

Con tecnología de [oTree](#)

Figura 6.3: Dos etapas del mercado de permisos. Solicitud de compra o venta.

Ronda 1 de 10

Resultado del mercado

Revise sus permisos finales y el pago antes de elegir producción.

Permisos iniciales	3	Unidades intercambiadas en el grupo	3
Cambio en permisos	-2	Precio por permiso	3,0 ECU
Permisos finales	1	Un pago negativo representa ingresos por ventas.	
Pago neto por permisos	-6,0 ECU		

Continuar

Con tecnología de [oTree](#)

Figura 6.4: Asignación y pago después del cruce.

Literatura y evidencia experimental

7.1 De Pigou y Coase al laboratorio

La tradición pigouviana plantea que un impuesto igual al costo externo marginal puede alinear la decisión privada con el bienestar. Coase enfatiza que derechos bien definidos y negociación pueden reubicar recursos cuando los costos de transacción son bajos, aunque la distribución de derechos sigue siendo relevante. En ambientes reales, información, medición, poder de mercado, cumplimiento y costos administrativos condicionan ambas rutas. El juego convierte esas ideas en márgenes observables sin pretender reproducir un mercado ambiental completo.

Plott estudió mercados con externalidades y políticas correctivas en un entorno experimental, mostrando el valor de comparar instituciones con parámetros controlados. Cason y Plott examinaron un mercado de emisiones diseñado para la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos, conectando prueba de laboratorio y diseño regulatorio. Muller y Mestelman revisaron evidencia experimental sobre instrumentos basados en incentivos; Requate sintetizó la comparación de instrumentos bajo competencia imperfecta e información incompleta. Estas contribuciones justifican usar experimentos como banco de pruebas, pero también muestran que resultados dependen de las reglas precisas.

7.2 Predicciones y hechos estilizados

Los experimentos suelen confirmar que los incentivos cambian emisiones y asignación, pero no garantizan convergencia instantánea. Los mercados pueden necesitar experiencia; el comercio puede ser menor al potencial; estándares pueden generar cumplimiento con costos altos; y la información sobre daños puede modificar decisiones incluso sin cambiar precios. Diferencias entre teoría y conducta pueden provenir de aprendizaje, errores, preferencias sociales, aversión a pérdidas, reglas heurísticas o percepción de legitimidad.

El informe de esta actividad permite reproducir preguntas de esa literatura a escala docente: si el impuesto acerca eficiencia, si permisos reasignan emisiones entre tipos, si el subsidio expande producción, si un estándar asigna limpieza a productores caros y si incertidumbre eleva dispersión. No permite identificar causalmente todos los mecanismos con una sola clase. Para comparar tratamientos, use cursos o secciones asignados antes de observar resultados y mantenga constantes tamaño, duración e instrucciones.

Atención

El mercado de permisos es una adaptación docente de precio anunciado y solicitudes limitadas. No representa una subasta continua ni reproduce una regulación específica. Presente los

resultados como evidencia del mecanismo implementado, no como estimación de una política nacional.

7.3 Cómo relacionar una sesión con la literatura

Una comparación útil no busca que la clase replique exactamente el promedio de un artículo. Identifique primero la institución, información, experiencia, incentivos y unidad experimental del estudio. Después señale qué elementos conserva la actividad y cuáles simplifica. Una diferencia puede ser evidencia sobre sensibilidad al diseño, no un fracaso de replicación. Esta práctica enseña a leer resultados experimentales como afirmaciones condicionadas por un entorno y una población.

Cuando presente una figura de un artículo, pida que los estudiantes traduzcan sus ejes a las variables del informe: producción, suciedad, daño, eficiencia, ganancias y comercio. Luego compare la dirección del efecto y no solo significancia estadística. La sesión docente tiene pocos grupos y fue creada para comprensión; no debe usarse para realizar inferencia confirmatoria. Puede, sin embargo, generar hipótesis y mostrar qué datos serían necesarios para evaluarlas.

Finalmente, distinga validez interna y externa. El control del laboratorio ayuda a conectar una regla con una respuesta dentro del ambiente. La relevancia para una industria depende de tecnologías, escalas, cumplimiento, daños y actores que el juego abstrae. Solicite que cada conclusión incluya una frase sobre el mecanismo aprendido y otra sobre la información adicional requerida antes de recomendar una política real.

Informe docente e interpretación

8.1 Privacidad y momento de revelar

Report muestra participantes, grupos, grupos-ronda completos y pendientes. Mientras quedan decisiones, el docente puede mantener resultados ocultos. Al revelar aparecen promedios de producción, limpieza, suciedad, daño, eficiencia y ECU, además de histogramas, series por ronda y una tabla por tipo de empresa. Ningún código de participante se muestra. Esta regla reduce exposición individual y evita retroalimentación estratégica durante una sesión incompleta.

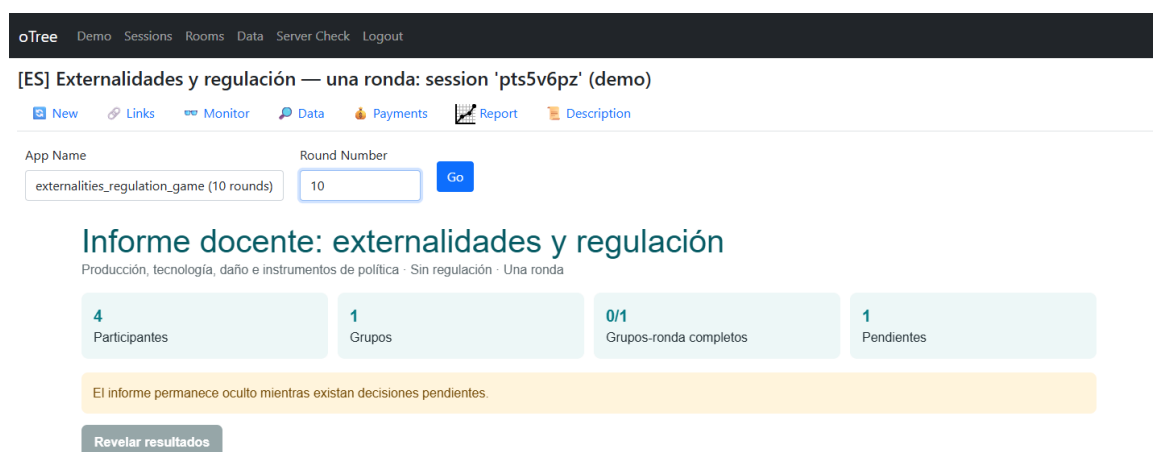


Figura 8.1: Control docente del momento de feedback. Informe protegido antes de revelar.

8.2 Cómo leer cada elemento

La media de producción describe escala; las unidades limpias y sucias separan tecnología; la proporción limpia facilita comparaciones con distinta producción; daño medio resume la consecuencia ambiental; eficiencia compara excedente real con máximo; ECU medias describen incentivos privados. Los histogramas revelan heterogeneidad escondida por promedios. La evolución por ronda muestra adaptación, pero debe leerse junto con número de grupos. La tabla por tipo vincula conducta con costos.

En permisos, el informe añade permisos intercambiados. Un número alto no implica por sí mismo eficiencia: el tope puede ser incorrecto, el precio puede no reflejar escasez y las transacciones pueden redistribuir sin mejorar la asignación. Verifique si tipos con prima limpia baja venden permisos y limpian más, mientras tipos con prima alta compran. Después compruebe daño y excedente, no solo volumen comercial.

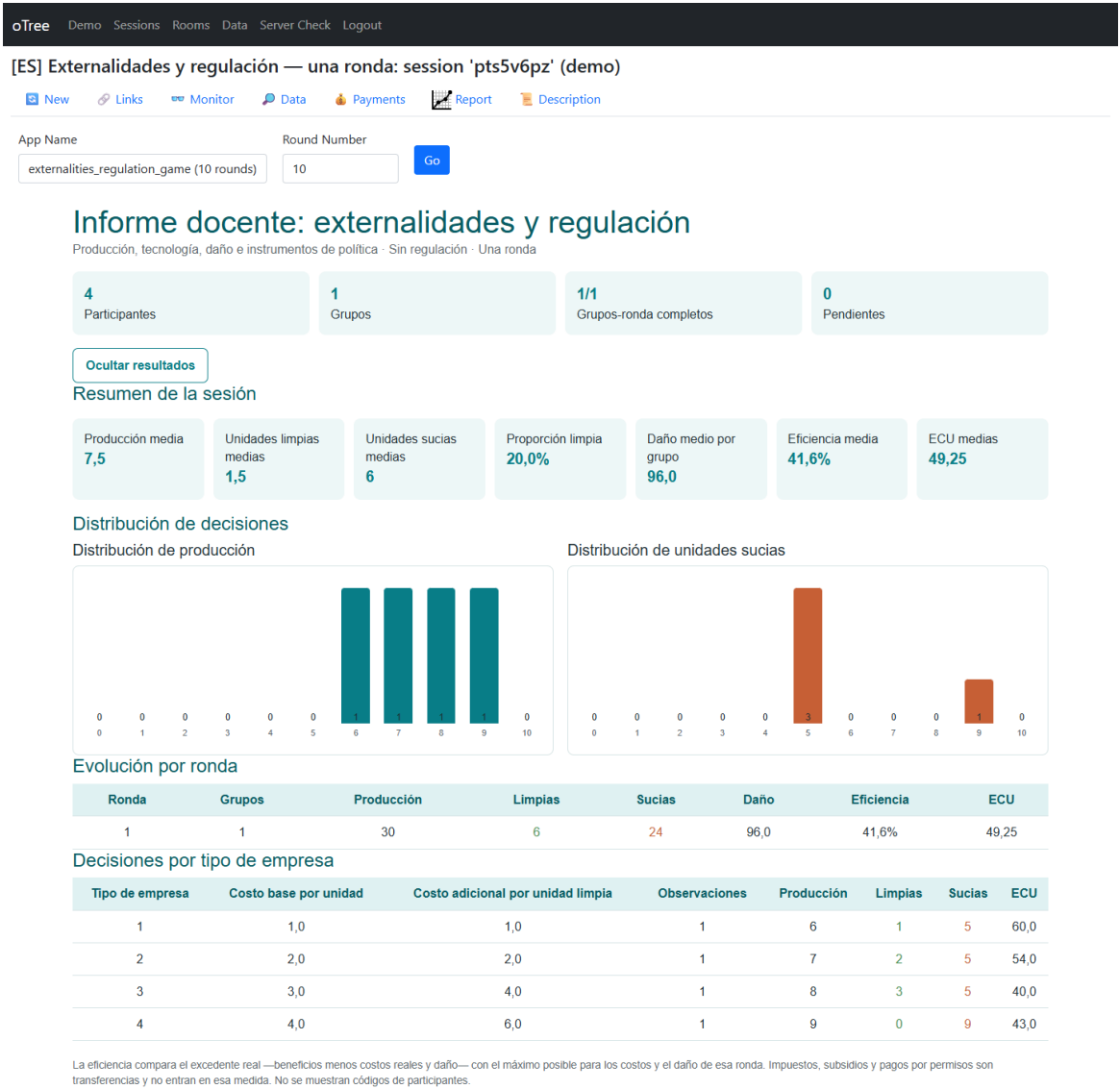


Figura 8.2: Informe básico con resultados agregados.

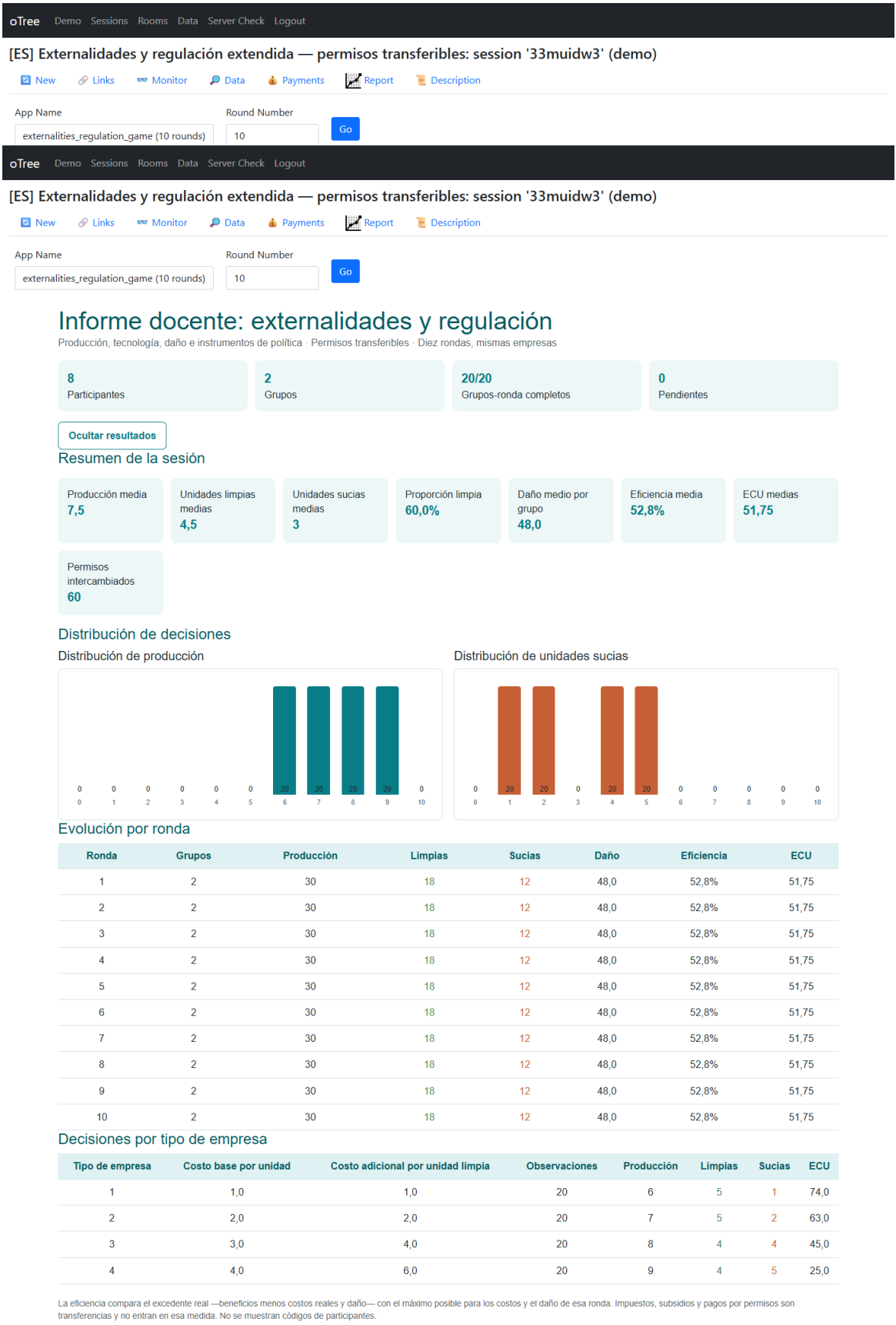


Figura 8.4: Informe docente de permisos con comercio, trayectorias y decisiones por tipo. Continuación 2/2.

Guion para el feedback

Comience por preguntar qué cambió en las decisiones. Pase después a mecanismos marginales, luego a eficiencia y finalmente a distribución. Termine con límites del diseño. Este orden evita que una gráfica se convierta en una conclusión normativa automática.

Para comparar dos informes, construya una tabla antes de mostrar cifras. Las filas deben ser producción, proporción limpia, daño, excedente, eficiencia, ECU por tipo y transferencias; las columnas, tratamiento y diferencia. Pida signos esperados y razones. Complete valores observados después. Si una predicción falla, examine comprensión, fuerza del incentivo, heterogeneidad y número de grupos antes de descartar la teoría.

Use los histogramas para preguntar si la media representa al conjunto. Una media estable puede ocultar polarización o intercambio de posiciones. En diez rondas, compare distribución inicial y final y observe si una tendencia agregada surge porque todas las empresas cambian o porque un tipo concentra el ajuste. La tabla por costos ayuda a evitar explicaciones que atribuyan todo a preferencias.

Planes de clase y guiones de feedback

9.1 Clase de cincuenta minutos

Antes de clase cree una sesión básica de una ronda y pruebe cuatro enlaces. En los primeros cinco minutos explique reglas del laboratorio sin anticipar una decisión correcta. Dedique diez minutos a instrucciones y comprensión, cinco a decisiones, cinco a predicciones colectivas y veinte a feedback. Use los últimos diez para conectar con externalidad marginal, impuesto correctivo y límites de una sola observación.

El guion puede iniciar con cuatro preguntas: cuánto se produjo, cuánto fue limpio, quién pagó el daño y por qué la ganancia privada no coincide con excedente. Escriba en el pizarrón una unidad adicional sucia y reparta sus cuatro ECU: una dentro de la cuenta de la empresa y tres sobre terceros. Solo después introduzca la tasa pigouviana. Esta derivación concreta suele ser más clara que presentar la fórmula antes de observar conducta.

9.2 Comparación de noventa minutos

Asigne grupos o secciones a sin regulación e impuesto, o a estándar y permisos. Mantenga participantes, rondas y parámetros constantes. Antes de revelar, cada equipo prepara una predicción sobre suciedad, producción, eficiencia, ganancias por tipo y presupuesto. Proyecte los informes uno al lado del otro y complete una matriz con dirección del cambio, evidencia observada y explicación.

Para impuesto versus subsidio, agregue producción total y gasto o recaudación. Para estándar versus permisos, enfatice quién realiza limpieza y a qué costo. Para daño conocido versus incierto, compare media y dispersión y registre realizaciones. En todos los casos pregunte qué dimensión no está representada: costos administrativos, innovación de largo plazo, evasión, incidencia sobre consumidores o exposición desigual de hogares.

9.3 Evaluación formativa

Solicite una nota de salida con tres partes: una identidad contable, una predicción marginal y una recomendación condicionada. Por ejemplo, el estudiante reconstruye ECU de una empresa, explica cómo cambia su decisión si la prima limpia cae y recomienda un instrumento sujeto a una restricción informativa. Califique separación entre efectos de incentivo, bienestar y distribución.

Para el docente

No premie una política por reducir daño sin preguntar por producción y costos, ni la rechace por reducir ganancias privadas cuando existe recaudación transferida. Exija una métrica y un contrafactual explícitos para cada afirmación.

Ejercicios resueltos

10.1 Problemas resueltos paso a paso

10.1.1 Beneficio de producción

Para $q=4$, $B=48-10=38$ ECU. La cuarta unidad añade ocho ECU porque los beneficios marginales son once, diez, nueve y ocho.

10.1.2 Ganancia sin regulación

Tipo dos produce cuatro, limpia dos y el grupo genera ocho unidades sucias. Beneficio 38, costo base 8, costo limpio 4 y parte del daño 8. Ganancia: $40+38-8-4-8=58$ ECU.

10.1.3 Costo externo marginal

Una unidad sucia causa cuatro ECU al grupo. La empresa soporta uno por reparto igual y desplaza tres a las otras. La externalidad marginal es tres ECU.

10.1.4 Impuesto correctivo

Con un impuesto de tres, una unidad sucia añade uno de daño propio y tres de impuesto. El costo percibido adicional de cuatro coincide con el daño social total.

10.1.5 Excedente y transferencias

Si se pagan doce ECU de impuestos, las ganancias privadas caen doce, pero el excedente social no resta la recaudación. Sí resta beneficio real, costos de producción, limpieza y daño.

10.1.6 Estándar

Con producción siete, una regla de cincuenta por ciento exige al menos cuatro unidades limpias porque la mitad se redondea hacia arriba. Quedan como máximo tres sucias.

10.1.7 Permisos

Una empresa inicia con tres, compra dos y vende cero: termina con cinco y paga seis ECU. Puede elegir hasta cinco unidades sucias; cualquier producción adicional debe ser limpia.

10.1.8 Daño esperado

Con cero u ocho equiprobables, el daño esperado por unidad sucia es cuatro. El valor esperado coincide con el caso conocido, pero la distribución de ganancias es distinta.

10.1.9 Tipo uno eficiente

Costo limpio total por unidad es dos y evita daño cuatro. Conviene limpiar. Beneficios marginales hasta la décima unidad superan o igualan dos, por lo que produce y limpia diez.

10.1.10 Tipo cuatro eficiente

Limpiar cuesta seis adicionales y evita cuatro, por lo que no conviene. Como costo base más daño es ocho, se producen las primeras cuatro unidades, cuyos beneficios marginales son once a ocho.

Después de resolver, cambie un parámetro y pida actualizar la respuesta sin rehacer todo. Esa variación muestra qué términos importan en el margen. Por ejemplo, si el daño sube a ocho, el tipo cuatro ya prefiere limpieza frente a daño; si el precio del permiso sube por encima de la prima limpia, un comprador potencial puede convertirse en vendedor.

Notas de discusión para profundizar

Las siguientes notas son módulos independientes. Cada una puede ocupar entre cinco y quince minutos. Incluyen un contexto, una tarea analítica y una precaución interpretativa. El docente puede seleccionar solo las que correspondan al curso.

11.1 La fábrica de cemento junto a una colonia

Una planta con costos bajos genera empleo y producto, pero sus emisiones afectan a hogares que no participan en la decisión. Pida separar beneficio privado, costo de producción y daño compartido. Después compare producción sin regulación con el máximo de excedente social.

Evite afirmar que toda producción contaminante debe desaparecer. La condición eficiente compara el beneficio marginal con el costo marginal de producir y el daño marginal no evitado. Pida que toda conclusión identifique el contrafactual, el indicador observado y el supuesto que conecta ambos. Después solicite una evidencia adicional que ayudaría a discriminar entre explicaciones alternativas.

Uso sugerido

Solicite primero una predicción individual, después una explicación en parejas y finalmente una comparación con el informe agregado. Anote desacuerdos antes de revelar la respuesta teórica.

11.2 Dos tecnologías con costos heterogéneos

Cuatro empresas tienen primas de limpieza distintas. Una regulación uniforme exige la misma proporción limpia a todas. Pregunte quién debería abatir primero y por qué. El costo marginal de limpieza, no la identidad de la empresa, organiza la asignación de costo mínimo.

Una norma uniforme puede reducir emisiones y aun ser más costosa que un instrumento que iguale costos marginales de abatimiento. Pida que toda conclusión identifique el contrafactual, el indicador observado y el supuesto que conecta ambos. Después solicite una evidencia adicional que ayudaría a discriminar entre explicaciones alternativas.

Uso sugerido

Solicite primero una predicción individual, después una explicación en parejas y finalmente una comparación con el informe agregado. Anote desacuerdos antes de revelar la respuesta teórica.

11.3 Impuesto menor que el daño total

El daño por unidad sucia es cuatro ECU, pero cada empresa soporta ya una cuarta parte mediante la pérdida compartida. Haga calcular la externalidad marginal que recae sobre los otros tres integrantes: tres ECU. Esa es la tasa correctiva usada en la actividad.

Aplicar mecánicamente una tasa de cuatro duplicaría la parte del daño que la empresa ya internaliza dentro de su propia ganancia. Pida que toda conclusión identifique el contrafactual, el indicador observado y el supuesto que conecta ambos. Después solicite una evidencia adicional que ayudaría a discriminar entre explicaciones alternativas.

Uso sugerido

Solicite primero una predicción individual, después una explicación en parejas y finalmente una comparación con el informe agregado. Anote desacuerdos antes de revelar la respuesta teórica.

11.4 Subsidio y presupuesto público

Un subsidio de tres ECU por unidad limpia cambia el precio relativo entre tecnologías, aunque el pago no crea recursos reales. Compare respuesta conductual, costo real de limpieza y desembolso fiscal. En el excedente social del juego, el subsidio se trata como transferencia.

No confunda mayor ganancia privada con mayor bienestar. La fuente de los fondos y el costo de recaudar impuestos pueden discutirse como extensiones. Pida que toda conclusión identifique el contrafactual, el indicador observado y el supuesto que conecta ambos. Después solicite una evidencia adicional que ayudaría a discriminar entre explicaciones alternativas.

Uso sugerido

Solicite primero una predicción individual, después una explicación en parejas y finalmente una comparación con el informe agregado. Anote desacuerdos antes de revelar la respuesta teórica.

11.5 Permisos y asignación inicial

Cada empresa comienza con tres permisos y puede comprar o vender a un precio anunciado. Muestre que la asignación inicial afecta pagos y distribución, mientras el intercambio puede trasladar permisos hacia quienes enfrentan mayor costo de limpieza.

El resultado eficiente requiere un tope adecuado y un mercado que funcione. La transferibilidad no corrige un límite agregado mal elegido. Pida que toda conclusión identifique el contrafactual, el indicador observado y el supuesto que conecta ambos. Después solicite una evidencia adicional que ayudaría a discriminar entre explicaciones alternativas.

Uso sugerido

Solicite primero una predicción individual, después una explicación en parejas y finalmente una comparación con el informe agregado. Anote desacuerdos antes de revelar la respuesta teórica.

11.6 Daño oculto

Las empresas conocen sus costos y beneficios, pero el valor del daño se revela solo después de decidir. Pida explicar qué regla usarían sin información ambiental. Compare cautela, expectativas y aprendizaje posterior.

No interprete una decisión arriesgada como indiferencia ambiental si el participante no recibió la información necesaria. Pida que toda conclusión identifique el contrafactual, el indicador observado y el supuesto que conecta ambos. Después solicite una evidencia adicional que ayudaría a discriminar entre explicaciones alternativas.

Uso sugerido

Solicite primero una predicción individual, después una explicación en parejas y finalmente una comparación con el informe agregado. Anote desacuerdos antes de revelar la respuesta teórica.

11.7 Daño incierto

El daño por unidad puede ser cero u ocho ECU con igual probabilidad y se realiza después de las decisiones. Calcule primero el daño esperado de cuatro ECU. Luego discuta por qué aversión al riesgo, ambigüedad percibida o atención pueden separar conducta y valor esperado.

Una muestra de pocas rondas no identifica por sí sola preferencias frente al riesgo; la realización aleatoria también mueve los resultados. Pida que toda conclusión identifique el contrafactual, el indicador observado y el supuesto que conecta ambos. Después solicite una evidencia adicional que ayudaría a discriminar entre explicaciones alternativas.

Uso sugerido

Solicite primero una predicción individual, después una explicación en parejas y finalmente una comparación con el informe agregado. Anote desacuerdos antes de revelar la respuesta teórica.

11.8 Tecnología sucia obligatoria

La empresa puede elegir producción pero no dispone de limpieza. Use el tratamiento para separar el margen de escala del margen tecnológico. Compare reducción de producción con sustitución hacia tecnología limpia.

No presente este escenario como recomendación normativa; funciona como contrafactual sobre restricciones tecnológicas. Pida que toda conclusión identifique el contrafactual, el indicador observado y el supuesto que conecta ambos. Después solicite una evidencia adicional que ayudaría a discriminar entre explicaciones alternativas.

Uso sugerido

Solicite primero una predicción individual, después una explicación en parejas y finalmente una comparación con el informe agregado. Anote desacuerdos antes de revelar la respuesta teórica.

11.9 Estándar de cincuenta por ciento

Toda empresa debe producir al menos la mitad de sus unidades con tecnología limpia. Examine cumplimiento, producción total y costos por tipo. Pregunte si una regla porcentual induce respuestas distintas a un límite absoluto.

El cumplimiento formal no garantiza costo mínimo ni que el nivel total de emisiones sea socialmente adecuado. Pida que toda conclusión identifique el contrafactual, el indicador observado y el supuesto que conecta ambos. Después solicite una evidencia adicional que ayudaría a discriminar entre explicaciones alternativas.

Uso sugerido

Solicite primero una predicción individual, después una explicación en parejas y finalmente una comparación con el informe agregado. Anote desacuerdos antes de revelar la respuesta teórica.

11.10 Aprendizaje en diez rondas

Los grupos observan resultados y pueden ajustar producción y limpieza durante diez periodos. Busque tendencias y cambios después de resultados extremos. Distinga convergencia por cálculo, imitación, experiencia y simple repetición.

Las rondas no son observaciones independientes. El informe debe leerse como trayectoria y no como una encuesta de ochenta personas. Pida que toda conclusión identifique el contrafactual, el indicador observado y el supuesto que conecta ambos. Después solicite una evidencia adicional que ayudaría a discriminar entre explicaciones alternativas.

Uso sugerido

Solicite primero una predicción individual, después una explicación en parejas y finalmente una comparación con el informe agregado. Anote desacuerdos antes de revelar la respuesta teórica.

11.11 Reasignación de empresas

Los participantes cambian de grupo entre rondas mientras conservan su tipo de costos. Compare estabilidad y difusión de estrategias con la modalidad fija. Pregunte qué información se transporta entre comunidades.

La reasignación reduce la historia compartida, pero no elimina aprendizaje individual ni dependencia temporal. Pida que toda conclusión identifique el contrafactual, el indicador observado y el supuesto que conecta ambos. Después solicite una evidencia adicional que ayudaría a discriminar entre explicaciones alternativas.

Uso sugerido

Solicite primero una predicción individual, después una explicación en parejas y finalmente una comparación con el informe agregado. Anote desacuerdos antes de revelar la respuesta teórica.

11.12 Equidad y eficiencia

Una política eleva el excedente social pero distribuye ganancias de manera desigual entre tipos de empresa. Pida proponer criterios explícitos: eficiencia, daño, costo fiscal, ganancias, dispersión y legitimidad. Después explore compensaciones.

No convierta eficiencia en una respuesta automática sobre justicia. El experimento separa indicadores para sostener esa discusión. Pida que toda conclusión identifique el contrafactual, el indicador observado y el supuesto que conecta ambos. Después solicite una evidencia adicional que ayudaría a discriminar entre explicaciones alternativas.

Uso sugerido

Solicite primero una predicción individual, después una explicación en parejas y finalmente una comparación con el informe agregado. Anote desacuerdos antes de revelar la respuesta teórica.

Datos, exportación y diagnóstico

12.1 Variables principales

La exportación registra idioma, edición, tratamiento, modalidad, ronda, grupo, tipo, costos, daño anunciado y realizado, producción, unidades limpias y sucias, solicitudes y transacciones de permisos, impuesto, subsidio, daño total, parte del daño, ganancia, excedente y eficiencia. Conserve un diccionario junto a cada exportación. Los códigos oTree son identificadores técnicos y no deben combinarse con nombres sin un protocolo institucional.

La unidad de observación es empresa-ronda, pero muchas variables se determinan a nivel grupo-ronda. Errores estándar simples a nivel individual ignoran esa dependencia. Para una clase basta descripción. Para investigación se requiere protocolo, consentimiento, asignación de tratamiento, cálculo de potencia y análisis que respete agrupación y repetición.

12.2 Problemas frecuentes

Si una persona ve Por favor espere, compruebe que las otras tres empresas del grupo llegaron a la misma etapa. Si el enlace dice que el usuario no existe, la base pudo reiniciarse y debe usarse la ruta estable del salón. Si aparece No more pages left, verifique que FinalSummary esté en la secuencia. Si Demo muestra otras familias, revise GAME_FAMILY. Si el informe sigue oculto, confirme que grupos y rondas figuren completos.

En permisos, una solicitud no ejecutada no es un error: necesita contraparte. Si compradores y vendedores no coinciden, el sistema raciona de forma determinista y conserva el total de permisos. Si una opción de producción parece ausente, revise el estándar o el límite de permisos. Antes de modificar código, reproduzca el problema con una sesión nueva y guarde configuración, ronda y captura.

Punto de verificación

Cierre una sesión solo después de comprobar Monitor, resumen final, Report, exportación y ausencia de participantes pendientes. Registre configuración, número de participantes, incidencias y cambios hechos durante la clase.

Selección de instrumentos y análisis institucional

13.1 Precios frente a cantidades

La comparación entre un impuesto y un sistema de permisos no se reduce a que uno fija precio y el otro cantidad. Bajo certeza, competencia y mercados sin fricciones, ambos pueden construirse para implementar el mismo nivel agregado. Bajo incertidumbre sobre costos, la pendiente relativa del beneficio de controlar emisiones y del costo de abatimiento determina cuál error resulta más costoso. La lógica de Weitzman sugiere que un precio limita el costo marginal que enfrentan empresas, mientras una cantidad limita emisiones. La actividad no estima curvas desconocidas, pero permite representar la intuición: el impuesto mantiene la tasa y deja variar suciedad; los permisos mantienen el tope y dejan que escasez y asignación determinen quién emite.

Para enseñar esta comparación, pida primero que los estudiantes identifiquen qué variable queda determinada por cada regla. Después introduzca una sorpresa: una empresa descubre que limpiar cuesta más de lo esperado. Bajo impuesto puede pagar y emitir; bajo un tope debe limpiar o adquirir un permiso. La respuesta social depende del daño de exceder la meta y del costo de exigir abatimiento inesperado. El ejercicio obliga a declarar incertidumbre y función objetivo, en lugar de elegir un instrumento por nombre.

13.2 Heterogeneidad, costo mínimo e incidencia

Los cuatro tipos hacen visible que una tonelada evitada no cuesta lo mismo en todas partes. Un estándar idéntico distribuye obligaciones de manera simple, pero puede ordenar limpieza cara mientras deja oportunidades baratas sin usar. Un impuesto común permite que cada empresa compare la tasa con su prima limpia. Un mercado de permisos agrega una restricción total y usa intercambios para mover el derecho a emitir. Estas predicciones deben contrastarse con las decisiones por tipo del informe, no solo con la media agregada.

Costo mínimo no equivale a distribución aceptable. La asignación inicial de permisos altera pagos y riqueza aun cuando la asignación final de emisiones coincida. Un impuesto transfiere recursos al regulador; un subsidio los transfiere a empresas; un estándar puede capitalizar costos en precios no modelados. Como consumidores y gobierno no aparecen, el informe no calcula incidencia completa. Use las ECU por tipo como punto de partida y solicite que la clase añada los actores ausentes antes de emitir una recomendación.

13.3 Información, monitoreo y capacidad administrativa

Un regulador necesita medir emisiones o alguna variable correlacionada. El impuesto requiere verificar la base gravable; los permisos requieren registros, propiedad y cumplimiento; el estándar requiere observar tecnología o desempeño; el subsidio exige comprobar adicionalidad. El tratamiento de daño oculto representa una falla distinta: aun con emisiones observables, puede desconocerse su consecuencia. Separar información sobre comportamiento de información sobre daño evita la afirmación imprecisa de que una política falla simplemente por falta de información.

La capacidad administrativa también tiene costos reales que la medida de excedente omite. Dos instrumentos con el mismo resultado dentro del juego pueden diferir fuera del laboratorio si uno requiere monitoreo continuo, un mercado líquido o decisiones frecuentes sobre tasas. Pida que cada equipo elabore una lista de datos, instituciones y mecanismos de cumplimiento necesarios para operar su instrumento. Después clasifique cada requisito como representado, abstraído o imposible de observar en la sesión.

13.4 Innovación y horizonte temporal

En esta versión, costos y tecnologías son fijos. Por ello, el experimento captura incentivos estáticos de adopción en el margen intensivo, no inversión de largo plazo. En un entorno dinámico, una tasa previsible puede aumentar el valor de inventar tecnología limpia; un estándar puede estimular soluciones dirigidas a una meta; permisos pueden crear un precio de carbono volátil; subsidios pueden reducir costo de aprendizaje. La literatura distingue eficiencia estática de incentivos dinámicos y advierte que el instrumento preferido puede cambiar con irreversibilidad y difusión tecnológica.

Una extensión verbal útil consiste en ofrecer a cada tipo la opción de pagar un costo fijo hoy para reducir su prima limpia en rondas futuras. Antes de programarla, la clase puede calcular el valor presente de la inversión bajo cada política. Este ejercicio conecta la experiencia con descuento, expectativas y credibilidad. También muestra por qué una sesión de diez rondas con parámetros fijos no basta para concluir cuál instrumento produce más innovación.

13.5 De evidencia de aula a recomendación

Una recomendación bien formulada debe especificar problema, objetivo, información, restricciones y criterio distributivo. El informe proporciona conducta bajo reglas controladas; no proporciona una estimación externa del daño ni del costo administrativo. Use una matriz con cinco columnas: predicción, resultado, mecanismo plausible, evidencia alternativa y condición de validez. Una diferencia entre tratamientos es informativa solo si sesiones son comparables y el mecanismo efectivamente cambia en una dimensión identificable.

Cierre solicitando una recomendación condicional: si el daño marginal es conocido y la medición de emisiones es confiable, entonces cierta regla puede ser atractiva por determinados motivos; si los costos son muy inciertos o el cumplimiento es débil, la conclusión cambia. El lenguaje condicional refleja economía aplicada rigurosa. También protege contra extrapolar una actividad estilizada a problemas ambientales con escalas, daños o instituciones diferentes.

13.6 Límites, ética y extensiones

El diseño usa empresas abstractas, daño monetario compartido y decisiones simultáneas. No incorpora consumidores, hogares expuestos, salud, localización, acumulación ambiental, cumplimiento estratégico, lobby ni inversión irreversible. La tecnología limpia es divisible y conocida. Esas simplificaciones permiten aislar incentivos, pero limitan inferencias sobre políticas reales.

Las ECU son puntos docentes y no representan salarios o compensación por daño. Evite describir a participantes como contaminadores responsables o moralmente deficientes. Las decisiones ocurren bajo reglas artificiales y pueden reflejar comprensión, experimentación o estrategia. Mantenga anonimato, explique el propósito después de la sesión y permita preguntas sobre el uso de datos.

Extensiones futuras pueden añadir inversión tecnológica, inspección y multas, comunicación, votación sobre tasas, hogares afectados, mercados de producto, entrada y salida o permisos subastados. Cada extensión debe formular una pregunta y preservar un control interpretable. Agregar realismo sin una comparación clara puede dificultar el aprendizaje.

13.7 Lista de control

Punto de verificación

- La instancia se inició con `GAME_FAMILY=externalities` y Demo muestra 22 configuraciones.
- El salón corresponde a idioma y edición; el número de participantes es múltiplo de cuatro.
- Se verificaron tratamiento, rondas, emparejamiento y parámetros.
- Se ensayaron portada, comprensión, decisión, resultado, cierre e informe.
- El informe está reservado al docente y los resultados permanecen ocultos hasta el feedback.
- El plan de discusión separa conducta, mecanismo, eficiencia, distribución y límites.
- La exportación se guardó con fecha, curso y configuración, sin exponer códigos.

Glosario

Externalidad: Efecto sobre terceros que no queda plenamente incorporado en la decisión privada.

Unidad limpia: Unidad producida con costo adicional que evita daño ambiental.

Unidad sucia: Unidad producida sin limpieza que genera daño compartido.

Impuesto pigouviano: Cargo por unidad igual al costo externo marginal relevante.

Estándar: Restricción directa sobre tecnología, proporción o emisiones.

Permiso: Derecho transferible que autoriza una unidad sucia en esta actividad.

Excedente social: Beneficios menos costos reales y daño, excluyendo transferencias.

Eficiencia: Excedente observado respecto del máximo factible bajo los parámetros.

Bibliografía

- Baumol, W. J. y Oates, W. E. (1988). *The Theory of Environmental Policy*. Cambridge University Press.
- Cason, T. N. y Plott, C. R. (1996). EPA's new emissions trading mechanism: A laboratory evaluation. *Journal of Environmental Economics and Management*, 30(2), 133–160. <https://doi.org/10.1006/jeeem.1996.0010>.
- Coase, R. H. (1960). The problem of social cost. *Journal of Law and Economics*, 3, 1–44. <https://doi.org/10.1086/466560>.
- Muller, R. A. y Mestelman, S. (1998). What have we learned from emissions trading experiments? *Managerial and Decision Economics*, 19, 225–238. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-1468\(199806/08\)19:4/5<225::AID-MDE888>3.0.CO;2-V](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1468(199806/08)19:4/5<225::AID-MDE888>3.0.CO;2-V).
- Pigou, A. C. (1920). *The Economics of Welfare*. Macmillan.
- Plott, C. R. (1983). Externalities and corrective policies in experimental markets. *Economic Journal*, 93, 106–127. <https://doi.org/10.2307/2232168>.
- Requate, T. (2005). Dynamic incentives by environmental policy instruments: A survey. *Ecological Economics*, 54, 175–195. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2004.12.028>.
- Weitzman, M. L. (1974). Prices vs. quantities. *Review of Economic Studies*, 41, 477–491. <https://doi.org/10.2307/2296698>.