El cambio climático y su impacto en la economía. Evidencia y modelos integrados de evaluación. Acuerdos internacionales y principales medidas adoptadas para hacer frente al cambio climático.

Introducción 2′30″

- **Enganche**: «quien siembra vientos recoge tempestades»: siembra una generación (un país), recoge otra (todos).
  - 2024: 1.er año > 1,5 °C sobre 1850-1900; EE. UU., 2.º emisor, sale de París (27/1/2026).
  - Seguiremos 1 t de CO_2 de una acería.
- **Relevancia**:
  - teórica: externalidad global, intergeneracional, acumulativa e incierta; «el mayor fallo de mercado» (Stern); Nobel a Nordhaus (2018);
  - práctica: 87 precios del carbono (≈30 % de las emisiones); derecho UE ≈85 €/t; MAFC desde 2026 [4.B.13] [3.B.41].
- **Contextualización**: Malthus, Club de Roma (1972) frente a Solow [3.A.43].
  - Arrhenius (1896); Brundtland (1987): **desarrollo sostenible**; IPCC (1988); CMNUCC (1992).
  - DICE (Nordhaus, 1992), Stern (2007), econometría del clima (Dell-Jones-Olken, 2014).
- **Problemática**: ¿por qué se emite demasiado y por qué canales daña? ¿Cuánto vale evitar 1 t? ¿Por qué los acuerdos logran tan poco?
- **Estructura**: diagnóstico (I), la cifra (II), la cura (III).

Introducción ..... 2′30″
I. Cambio climático y economía ..... 7′30″
1. El fenómeno físico ..... 1′30″
2. Problema económico ..... 2′
3. Canales de impacto ..... 4′
II. Evidencia y MIE ..... 9′
1. Evidencia empírica ..... 2′30″
2. MIE y coste social del carbono ..... 1′30″
3. El modelo DICE ..... 5′
III. Acuerdos y medidas ..... 9′30″
1. Instrumentos ..... 1′30″
2. Cooperación internacional ..... 1′30″
3. Acuerdos: CMNUCC, Kioto, París ..... 2′30″
4. Medidas: UE, RCDE y MAFC ..... 4′
Conclusión ..... 1′30″

I. El cambio climático y su impacto en la economía 7′30″

El CO_2 se acumula: el cambio climático es una externalidad global, entre generaciones y acumulativa que llega a la economía por la oferta, los precios, el sistema financiero y la distribución; pagan sobre todo los países pobres y cálidos.

I.1. El fenómeno físico y su evidencia

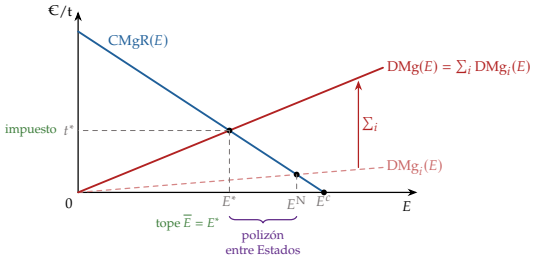
- **Cambio climático** (CMNUCC, art. 1): cambio del clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana, que altera la composición de la atmósfera y se suma a la variabilidad natural.
- **GEI**: retienen la radiación infrarroja; el problema es el efecto invernadero *añadido*. CO_2, metano, óxido nitroso, fluorados; se suman en **t CO_2e**. 2025: 54.100 Mt CO_2e (+0,7 %); CO_2 fósil >38.000 Mt (récord), 7 de cada 10; en 2026, −0,4 % (≈38.200; Global Carbon Budget 2026).
- Causas: fósiles, cemento, agricultura, deforestación; IPCC (AR6): +1,1 °C en 2011-2020, origen humano *inequívoco*.
- Quién emite: China ≈30 %, EE. UU. 11 %, India 8 %, UE <6 %; por habitante: EE. UU. 17,5 t, UE 7,1, India 3,1.
- Hechos: CO_2 426,8 ppm en 2025 (+53 % sobre la era preindustrial); 2025, 3.er más cálido (+1,47 °C) tras 2024 (+1,60); calentamiento humano 1,37 °C, +0,27 °C por década (Forster et al.).
- **El CO_2 es un stock**: parte sale en décadas, parte queda siglos ⇒ calentamiento ∝ emisiones *acumuladas* (≈0,45 °C por cada billón de t). Estabilizar exige **emisiones netas nulas**.
- **Presupuesto de carbono**: lo que se puede emitir sin pasar un umbral. 1,5 °C (50 %): ≈130.000 Mt a inicios de 2026, ≈3 años al ritmo actual (IPCC: 500.000 desde 2020).
- Efectos: extremos más frecuentes, mar más alto y ácido, biodiversidad, salud; agricultura, pesca, turismo, energía.
- **Puntos de inflexión**: cambios bruscos e irreversibles (Groenlandia, Antártida occidental, permafrost, corales, circulación atlántica), varios entre 1,5 y 2 °C (Armstrong McKay et al., 2022); los corales ya lo han cruzado (≈1,2 °C) ⇒ incertidumbre de cola.
- Proyecciones: políticas en vigor ≈2,8 °C en 2100; con todas las contribuciones, 2,3-2,5 °C (PNUMA, 2025).

I.2. El cambio climático como problema económico

- **Externalidad negativa** [3.A.23]: CMgS = CMgP + CMgE; falla el supuesto de mercados completos del 1TFEB [3.A.22]. El CMgE de 1 t de CO_2 = **coste social del carbono** (CSC).
- Gráfico en emisiones E: CMgR(E) decreciente = **coste marginal de reducción** = beneficio marginal de emitir (se anula en E^c); DMg_i = daño marginal de un país; daño mundial, suma *vertical* (como Samuelson-Bowen):

$$DMg(E) = \sum_i DMg_i(E)$$

- 3 niveles: E^c (nadie paga); E^N (Nash: CMgR = DMg_i); E^* (CMgR = DMg) ⇒ $E^c > E^N > E^*$. Distancia E^N-E^*: **polizón entre Estados**. Precio óptimo $t^* = DMg(E^*) = CSC$; tope $\overline{E} = E^*$ equivalente sin incertidumbre.



Emisiones sin política (E^c), de Nash (E^N) y óptimas (E^*): el daño mundial suma los de los países

- **5 rasgos** que rara vez van juntos:
  1. *Global*: reducir es un **bien público global** de suma de esfuerzos (Hirshleifer, 1983); polizón; sin gobierno mundial (Kindleberger, 1986); atmósfera = común global.
  2. *Entre generaciones*: quien paga no es quien disfruta ⇒ tasa de descuento (II.3).
  3. *Acumulativa e irreversible*: **valor de opción** de esperar (Arrow-Fisher, 1974) ⇒ más prudencia.
  4. *Incierta*: sensibilidad, daños por grado, puntos de inflexión: colas.
  5. *Desigual*: emiten los ricos, sufren los pobres y cálidos ⇒ **responsabilidades comunes pero diferenciadas** (CMNUCC, art. 3.1).
- Pigou exige un Estado que imponga; Coase, pocos afectados: con ≈200 Estados y generaciones no nacidas, ninguno: **dilema de Westfalia** (Nordhaus, 2015).

I.3. Canales de impacto en la economía

- 2 riesgos (Carney, 2015; NGFS, 2019): **físicos** (*agudos*: dana, huracán; *crónicos*: temperatura, agua, mar) y **de transición** (política, tecnología, preferencias; mayores cuanto más tarde y brusca). 5 canales:
- **Crecimiento** ($Y = AK^{\alpha}L^{1-\alpha}$ [3.A.45]):
  - *trabajo*: calor (horas, productividad, salud); desplazados;
  - *capital*: desastres; **activos varados**: para 2 °C, sin usar 1/3 del petróleo, 1/2 del gas, >80 % del carbón (McGlade-Ekins, 2015);
  - *PTF*: agricultura, suministros, reparar en vez de innovar.
- **Efecto nivel o crecimiento**: nivel ⇒ daño acotado; tasa ⇒ se acumula. Panel: crecimiento en países pobres (Dell-Jones-Olken, 2012).

© 2026 Víctor Gutiérrez Marcos · Exclusivo de victorgutierrezmarcos.es y la app Oposición TCEE · DCE · uso personal

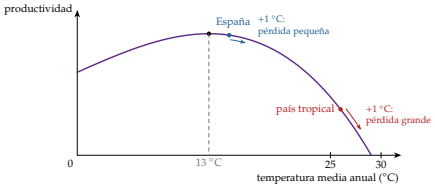
- **Precios**: perturbaciones de oferta (↓ Y, ↑ P) [3.A.36]. Schnabel (2022): ***climateflation*** (clima encarece comida y energía), ***fossilflation*** (dependencia fósil, 2022), ***greenflation*** (metales y precio del carbono).
- **Financiero**: **tragedia del horizonte** (Carney, 2015): los daños llegan tras el horizonte de inversores, supervisores y políticos. Aseguradoras, impagos, activos intensivos en carbono; si de golpe, sistémico. NGFS (2017); prueba de resistencia del BCE (2022).
- **Política**: *fiscal*: emergencia, inversión, subvenciones (carrera tras la IRA de EE. UU., 2022), recauda el carbono [4.B.13]; *monetaria*: disyuntiva inflación-actividad, tipo natural [3.A.40], mandato; BCE: clima en su estrategia (2021).
- **Desigualdad**: entre países, pierden los pobres y cálidos (Burke-Hsiang-Miguel, 2015) [3.B.28]; el 10 % que más emite, casi la mitad (Chancel, 2022). Dentro: precio regresivo si no se compensa (chalecos amarillos, 2018). España: sur de Europa, el más expuesto (AEMA, 2024); PNACC 2021-2030 [4.A.6].

II. Evidencia y modelos integrados de evaluación 9′

La evidencia reciente apunta a daños mayores y no lineales; los modelos dan un coste social del carbono positivo y creciente, pero muy sensible a 2 juicios: el descuento y el trato de las catástrofes.

II.1. Evidencia empírica del impacto económico

- *Corte transversal*: renta −8,5 % por grado entre países (Dell-Jones-Olken, 2009); la geografía explica ≈20 % de la brecha África tropical-regiones industriales (Nordhaus, 2006). Problema: correlación ≠ causalidad (instituciones, colonias, enfermedades).
- **Econometría del clima** (panel): cada país frente a sí mismo en años más cálidos o fríos, efectos fijos de país y año; el tiempo es aleatorio ⇒ causal (Dell-Jones-Olken, 2014; Hsiang, 2016).
- Dell-Jones-Olken (2012): pobres, +1 °C ⇒ crecimiento −1,3 pp; ricos, sin efecto claro; efecto sobre el *crecimiento*.
- Burke-Hsiang-Miguel (2015): *no lineal*, igual para todos: máximo ≈13 °C; los ricos están en zonas frías; sin mitigar, renta mundial −23 % en 2100 y ↑ desigualdad.



U invertida: productividad máxima en torno a 13 °C (Burke-Hsiang-Miguel, 2015)

- Bilal-Känzig (2026), temperatura *global*: +1 °C ⇒ PIB mundial > −20 % a largo plazo; CSC >1.200 $/t (el documento de trabajo de 2024 daba ≈12 %).
- Desastres: daño de huracanes ∝ viento^9; ≈0,08 % del PIB de EE. UU. (Nordhaus, 2010).
- *Límites*: el tiempo no es el clima (adaptación ↓, acumulación ↑); extrapolación; canales que faltan (mar, biodiversidad, migraciones); fragilidad: *Nature* retiró en dic. 2025 el artículo de Kotz et al. (−19 % en 2050) por los datos de un país.

II.2. Los MIE y el coste social del carbono

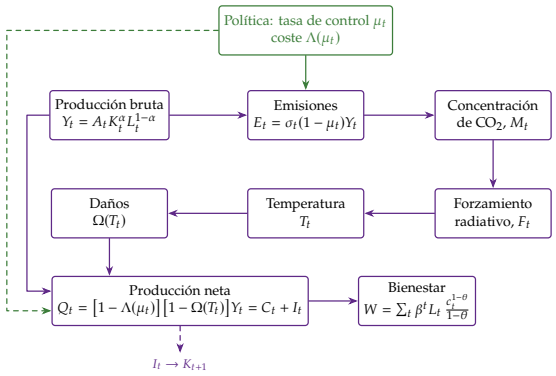
- **Modelos integrados de evaluación** (MIE, IAM): módulo económico + climático: economía → emisiones → calentamiento → daños. 3 tipos: (1) *optimización* con daños, dan el CSC (DICE/-RICE, FUND de Tol-Anthoff, PAGE de Hope); (2) *simulación* tecnológica (IMAGE, GCAM: mínimo coste de un objetivo; IPCC); (3) *MEGC* (políticas concretas); DICE no es un MEGC, sino crecimiento óptimo [3.A.21].
- **Coste social del carbono**: valor actual, en consumo de hoy, de los daños de 1 t más emitida en t:

$$\mathrm{CSC}_t \equiv -\frac{\partial W/\partial E_t}{\partial W/\partial C_t} \simeq \sum_{j=0}^{\infty} \frac{1}{(1+r_s)^j} \frac{\partial[\Omega(T_{t+j})Y_{t+j}]}{\partial E_t}$$

Es el DMg mundial; en el óptimo, $t_t^* = \mathrm{CSC}_t$; sirve para el análisis coste-beneficio [4.B.6]. Cifras: DICE-2023, 66 $ (políticas actuales) y 50 $ (óptima), $ de 2019; EPA (2023), 190 $ con descuento del 2 %; EE. UU. (2025) deja de usar cifra oficial: también decisión política.
- **Informe Stern** (2006-2007, con PAGE): no actuar ≥5 % del PIB mundial cada año, hasta 20 % o más; actuar ≈1 % ⇒ actuar fuerte y pronto.

II.3. El modelo DICE de Nordhaus

- **a) Idea** (Nordhaus, 1992): Ramsey-Cass-Koopmans + daños + reducción [3.A.43]; renunciar a consumo hoy invirtiendo en capital *físico* o *natural* (reducir emisiones). Versión DICE-2023 (Barrage-Nordhaus, 2024).
- **b) Modelo**. *i) Supuestos*:
  - planificador mundial, 1 bien, periodos de 5 años; L_t, A_t exógenas; $Y_t = A_t K_t^{\alpha} L_t^{1-\alpha}$, $\alpha = 0{,}3$;
  - *daños* $\Omega(T) \simeq 0{,}0035\,T^2$ (3,1 % con 3 °C; 7 % con 4,5);
  - **tasa de control** $\mu_t \in [0,1]$, coste $\Lambda(\mu) = \vartheta_1 \mu^{\vartheta_2}$, $\vartheta_2 = 2{,}6$; $E_t = \sigma_t(1-\mu_t)Y_t$;
  - clima $T_t = \Phi(E_0, \ldots, E_t)$; utilidad isoelástica ($\theta$), $\beta = 1/(1+\rho)$, ρ = **preferencia temporal pura**.



DICE: producción → emisiones → clima → daños

- *ii) Desarrollo*: el problema

$$\begin{aligned} \max_{\{I_t,\mu_t\}} \quad & \textstyle\sum_t \beta^t L_t \frac{c_t^{1-\theta}}{1-\theta} \\ \text{s.a.} \quad & Q_t \equiv [1-\Lambda(\mu_t)][1-\Omega(T_t)]Y_t = C_t + I_t \\ & K_{t+1} = (1-\delta)K_t + I_t \\ & E_t = \sigma_t(1-\mu_t)Y_t,\ T_t = \Phi(E_0,\ldots,E_t) \end{aligned}$$

- *Dilema*: reducir (Λ) baja Q_t hoy; emitir sube T y Ω en todos los periodos siguientes.
- *Óptimo*: coste marginal de reducir = CSC = precio del carbono:

$$\frac{\vartheta_{1,t}\vartheta_2\mu_t^{\vartheta_2-1}}{\sigma_t} = \mathrm{CSC}_t = t_t^* \quad (\text{Pigou; } \mathrm{CMgR}_j = p_E)$$

- *Descuento*: de la ecuación de Euler con utilidad isoelástica, **fórmula de Ramsey del descuento** (1928):

$$r_s = \rho + \theta\,\gamma_c$$

2 motivos: impaciencia (ρ) y generaciones futuras más ricas ($\gamma_c > 0$), con aversión a la desigualdad entre generaciones θ.
- *iii) Implicaciones* (DICE-2023):
  - sin políticas: +3,6 °C en 2100, daños 4,4 %;
  - óptimo: **rampa**, 50 $/t (2020) → 115 $ (2050); μ 39 % (2050), 84 % (2100); +2,6 °C, daños 2,3 %; ganancia ≈120 billones de $;
  - el impuesto óptimo es el CSC *de la senda óptima* (50, no 66);
  - 2 °C solo con descuento bajo o daños más severos (CSC 75 $); 1,5 °C ya no alcanzable;
  - descuento 5 % → 32 $; 3 % → 87; 2 % → 176; 1 % → 485.
- **c) Extensiones**: RICE por regiones; innovación endógena (R&DICE, ENTICE);
  - **cambio técnico dirigido** (Acemoglu et al., 2012): la innovación va a la sucia ⇒ impuesto + subvención a la I+D limpia, temprano y temporal [3.A.44];
  - Golosov-Hassler-Krusell-Tsyvinski (2014): impuesto ∝ PIB (solo importan descuento, daños y física del carbono); C-DICE para clubes.

© 2026 Víctor Gutiérrez Marcos · Exclusivo de victorgutierrezmarcos.es y la app Oposición TCEE · DCE · uso personal

- **d) Evidencia**: daños de 3,1 % con 3 °C = 1,6 literatura + 1 puntos de inflexión + 0,5 omitidos (≈2× DICE-2016); CSC parecido entre modelos *para un mismo descuento*.
- **e) Valoración**. *Descuento*: «pan para hoy, hambre para mañana».
  - Stern, *prescriptivo* (ética: $\rho \approx 0$, solo riesgo de extinción);
  - Nordhaus, *descriptivo* (ρ, θ que reproduzcan los tipos reales);
  - θ = aversión a la desigualdad entre generaciones (Atkinson [3.A.24]);
  - 100 $ a 100 años valen hoy 24,9 $ con Stern (ρ = 0,1 %, θ = 1, r_s = 1,4 %) y 0,5 $ con Nordhaus (ρ = 1,5 %, θ = 2, r_s = 5,5 %); DICE-2023, 4,5 %.
- Expertos: mediana 2 %, mayoría 1-3 % (Drupp et al., 2018); así el DICE se acerca a París (Hänsel et al., 2020); guías oficiales: tasas decrecientes [4.B.6].
- *Incertidumbre*: **teorema lúgubre** (Weitzman, 2009): colas gruesas + aversión al riesgo [3.A.10] ⇒ disposición a pagar sin límite; el ACB con valores esperados deja de servir ⇒ política climática = *seguro*. Nordhaus (2011): supuestos extremos (utilidad sin cota, no aprender), pero acepta las colas.
- Pindyck (2013): MIE «casi inútiles»: daños y descuento arbitrarios, falsa precisión; preguntar a expertos por las catástrofes. Otros límites: daños al nivel y no al crecimiento; 1 bien (no encarece los ambientales); planificador mundial inexistente.

III. Acuerdos internacionales y principales medidas *9′30″*

Los instrumentos se conocen y funcionan donde se aplican; lo difícil es la cooperación, porque reducir es un bien público global: de Kioto (obligatorio para pocos) a París (voluntario para casi todos), y la UE cobra ya su precio del carbono en la frontera.

III.1. Instrumentos: mitigación y adaptación

- «*Más vale prevenir que curar*». **Mitigación**: reducir emisiones o retirar CO_2; ataca la causa; bien público *global*. **Adaptación**: limitar daños (diques, regadíos, cultivos, normas, alertas, seguros); beneficios *locales* o privados, apenas polizones; no sustituye a la mitigación.
- **Precio del carbono** [3.A.23]:
  - *impuesto* $t^* = \text{DMg}(E^*) = \text{CSC}$ (Pigou, 1920: fija precio);
  - *derechos* con tope $\overline{E} = E^*$ (Dales, 1968; Montgomery, 1972: fija cantidad).
- En ambos, $\text{CMgR}_j = p_E$ (o t^*) ⇒ reducción al mínimo coste sin conocer los costes de cada empresa + incentivo a innovar.
- **Precios frente a cantidades** (Weitzman, 1974): con incertidumbre en costes, cantidad si el daño marginal crece más deprisa que el CMgR. Clima: daño de un año casi plano (stock) ⇒ impuesto (Pizer, 2002); en contra, puntos de inflexión y presupuesto. Práctica: suelos, techos, reserva de estabilidad del RCDE.
- *Credibilidad*: inversiones de décadas; compromisos que blinden el precio (Helm-Hepburn-Mash, 2003).
- *Otros*: I+D limpia (externalidad del conocimiento; Acemoglu et al.); normas técnicas; información y finanzas sostenibles; fiscalidad verde: **doble dividendo** [4.B.13].
- **Paradoja verde** (Sinn, 2008): regla de Hotelling (1931), precio neto crece al tipo de interés; impuestos crecientes esperados ⇒ adelantar la extracción ⇒ ↑ emisiones hoy. **Efecto rebote**: eficiencia abarata la energía ⇒ ↑ consumo (Jevons, 1865).

III.2. El problema de la cooperación internacional

- 2 países, reducir o emitir (pagos de la guerra de precios [3.A.14]): emitir es **estrategia dominante** (6 > 5, 1 > 0); único EN (Emitir, Emitir) = (1, 1) frente a (5, 5): **dilema del prisionero** (= E^{N}).

	Reducir	Emitir
Reducir	(5, 5)	(0, 6)
Emitir	(6, 0)	(1, 1)

	Reducir	Emitir
Reducir	(5, 5)	(0, 3)
Emitir	(3, 0)	(1, 1)

Dilema entre países (izq.) y con club: arancel de 3 al que emite (der.)

- *Repetido*: el **gatillo** sostiene la cooperación si $\beta \geq \frac{u^{\text{D}}-u^{\text{C}}}{u^{\text{D}}-u^{\text{N}}} = \frac{6-5}{6-1} = \frac{1}{5}$. Pero poco creíble: ≈200 países, cuesta ver quién incumple; castigar (dejar de reducir) daña al que castiga ⇒ renegociar; gobiernos que no verán los beneficios.
- **Acuerdo autoaplicable**: a ningún firmante le compensa salir ni a ningún país de fuera entrar. **Paradoja de Barrett** (1994; Carraro-Siniscalco, 1993): acuerdos estables amplios solo si la ganancia de cooperar es pequeña. Contraejemplo: *Montreal* (1987, ozono; 198 partes): pocos productores, sustitutos baratos, fondo y *restricciones comerciales*.
- **Club climático** (Nordhaus, 2015; clubes de Buchanan, 1965): el clima no es excluible, el comercio sí. Precio mínimo común + *arancel de castigo uniforme* a los de fuera; con arancel de 3, emitir frente a quien reduce da 3 ⇒ 2 EN, (R,R) mejor: **juego de coordinación**; castigo creíble porque no pasa por el clima.
- C-DICE: sin sanciones, nada; con precios moderados (12,5-50 $/t) bastan aranceles del 2-5 %; con 100 $, no. Club del Clima del G-7 (2022): foro sin aranceles [3.B.19]. Límites: nación más favorecida de la OMC [3.B.33], represalias.

III.3. Los acuerdos internacionales

- **CMNUCC** (Nueva York-Río, 1992; en vigor 1994; 198 partes): art. 2, estabilizar concentraciones «a un nivel que impida interferencias antropógenas peligrosas»; art. 3, responsabilidades comunes pero diferenciadas (anexo I [3.B.28]). COP anual desde Berlín (COP1, 1995).
- **Kioto** (COP3, 1997): desarrollados y economías en transición, «al menos un 5 %» bajo 1990 en 2008-2012 (5,2 % sumado); CE −8 % conjunto; en desarrollo, sin objetivos. 3 mecanismos: comercio de emisiones, MDL, aplicación conjunta. En vigor 16/2/2005 (Rusia); EE. UU. no ratificó; Canadá sale (2012). Balance: cumplido (hundimiento del Este) pero emisiones mundiales ↑: *profundo pero estrecho*, de arriba abajo (Barrett).
- **Copenhague** (COP15, 2009): fracaso, la COP «toma nota»; 2 °C y 100.000 M$/año en 2020. **Cancún** (COP16, 2010): formaliza 2 °C y crea el Fondo Verde para el Clima [3.B.30].
- **Acuerdo de París** (COP21, 2015; en vigor 4/11/2016; 194 partes):
  - objetivos: «muy por debajo de 2 °C» y esfuerzos por 1,5 °C; adaptación; flujos financieros; neutralidad en la 2.ª mitad del siglo;
  - de abajo arriba: **CDN** cada 5 años, contenido no vinculante (sí presentarlas e informar);
  - **balance mundial** cada 5 años: COP28 (Dubái, 2023): −43 % en 2030 y −60 % en 2035 frente a 2019, abandonar fósiles, ×3 renovables, ×2 eficiencia;
  - art. 6: mercados.
- *Financiación*: 100.000 M$ alcanzados en 2022 (115.900); COP27 (2022): fondo de **pérdidas y daños**; COP29 (Bakú, 2024): ≥300.000 M$/año en 2035; COP30 (Belém, 2025): ×3 adaptación, diálogo comercio-clima, sin EE. UU.; COP31 (Antalya, nov. 2026).
- *Valoración*: París cambia profundidad por amplitud (respuesta a Barrett); pero contribuciones ⇒ 2,3-2,5 °C, sin sanciones; EE. UU. sale (2020), vuelve (2021), sale (27/1/2026) y deja la CMNUCC (efectiva 27/2/2027): polizón en estado puro.

III.4. Las medidas: la UE y el resto del mundo

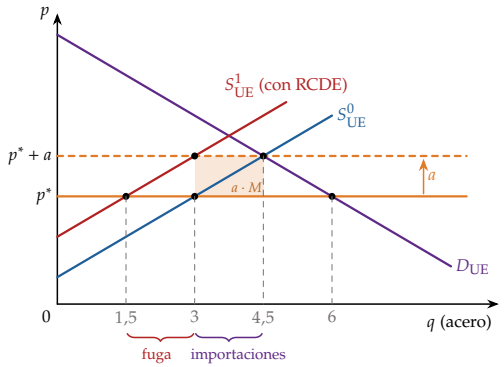
- **UE**: Pacto Verde (2019); **Ley Europea del Clima** (2021): neutralidad en 2050, −55 % netas en 2030, −90 % en 2040 (reforma de 2026; hasta 5 puntos con créditos internacionales desde 2036); en 2024, −37 %. **Objetivo 55**: RCDE, RCDE 2, Fondo Social, reparto del esfuerzo, renovables, eficiencia, coches, MAFC. MRR: ≥37 % verde [3.B.45].
- **RCDE** (Directiva 2003/87/CE, desde 2005): mayor mercado por valor; electricidad, industria pesada, aviación intraeuropea, marítimo (2024). Tope −4,3 %/año (2024-2027), −4,4 % desde 2028 → −62 % en 2030 frente a 2005 (ya a la mitad). Evidencia: −14/16 % de emisiones sin menos actividad ni traslado (Colmer et al., 2025); apenas resta competitividad (Dechezleprêtre-Sato, 2017).
- **RCDE 2** (desde 2028): edificios y transporte por carretera, aguas arriba. **Fondo Social para el Clima**: 65.000 M€ (2026-2032), de sus ingresos; con el RCDE 2 en 2028, máximo de 54.600 M€. Acería UE: 85 €/t, mismo coste de oportunidad compre o le sobren.
- **MAFC** (CBAM): «*Allá donde fueres, haz lo que vieres*». Contra la **fuga de carbono**; sustituye a los derechos gratuitos; medida de *segundo óptimo* [3.A.22]. *Diseño* (Reglamento 2023/956):
  - cemento, hierro y acero, aluminio, fertilizantes, electricidad, hidrógeno;

© 2026 Víctor Gutiérrez Marcos · Exclusivo de victorgutierrezmarcos.es y la app Oposición TCEE · DCE · uso personal

- certificados al precio medio de subasta del RCDE menos el pagado en origen;
- al ritmo de la retirada de gratuitos (97,5 % en 2026 → 0 en 2034);
- transitorio 1/10/2023-31/12/2025; definitivo 1/1/2026; certificados desde feb. 2027;
- Ómnibus (2025/2083): exentos <50 t/año (≈90 % de importadores, 1 % de emisiones).

- Ajuste por tonelada importada:

$$a = (p_E - p_E^*)\,\sigma^M$$



Acero en la UE: sin política produce 3 e importa 3; RCDE sin ajuste, 1,5 e importa 4,5 (fuga); con ajuste ($p^* + a$), produce 3 e importa 1,5 y recauda $a \cdot M$

- *Implicaciones*: incentivo europeo sin fuga; incentivo a descarbonizar fuera y a poner precio propio (recaudan ellos); recurso propio: 75 % al presupuesto UE desde 2028, ≈1.400 M€/año [3.B.37].
- *Extensiones*: aguas abajo, ≈180 productos de acero y aluminio desde 2028 (propuesta 17/12/2025, en negociación); reforma del RCDE (jul. 2026): fin de gratuitos de 2034 a 2038; Reino Unido, desde 1/1/2027.
- *Evidencia*: MEGC: fugas moderadas que el ajuste reduce, poco efecto mundial, coste a exportadores en desarrollo (Böhringer et al.).
- *Valoración*: OMC: trato nacional (art. III del GATT) y excepciones del art. XX ante la demanda de Rusia (DS639, grupo especial en 2026) [3.B.33]; terceros (India, China...): unilateral, contra las responsabilidades diferenciadas; medir es caro; reorientación; *no es un club*: no castiga la no participación como tal.
- **Resto del mundo**: 87 precios del carbono, ≈30 % de emisiones, >107.000 M$ recaudados en 2025 (BM); China amplía en 2025 su mercado a acero, cemento y aluminio (tope por unidad producida); EE. UU., sin precio federal, IRA recortada (2025); España: Ley 7/2021 y PNIEC 2023-2030, −32 % frente a 1990 y 81 % renovable eléctrica en 2030 [4.A.6].

Conclusión *1'30''*

- **Recapitulación**: el CO_2 se acumula y su daño es planetario e intergeneracional: la externalidad más difícil (producción, precios, finanzas, distribución); evidencia de daños mayores y no lineales ⇒ CSC positivo y creciente, según descuento y catástrofes; instrumentos conocidos, pero bien público global: de Kioto a París, y la UE con el MAFC.
- **Relevancia**: Nordhaus (2019), conferencia Nobel: «*The Ultimate Challenge for Economics*»: externalidades, bienes públicos, incertidumbre, descuento y cooperación; el precio del carbono ya es política fiscal, comercial y financiera.
- **Extensiones**: [3.A.23], [3.A.14]; [3.A.43], [3.A.44]; [3.B.28], [3.B.30], [3.B.41], [3.B.37]; [4.B.13], [4.A.6]; adaptación, transición justa, finanzas sostenibles.
- **Opinión**: «el mayor fallo de mercado» (Stern, 2006): precio del carbono creíble y creciente, extendido con incentivos excluibles (club, ajuste); innovación limpia; ayuda a los que más sufren. El obstáculo es político: repartir costes entre países y generaciones.
- **Idea final**: la tonelada ya tiene precio en parte del mundo; el reto es que lo tenga en todo él. La economía no para el viento sembrado, pero sí puede lograr que se siembre menos y que quien siembra pague: solo así se cumple del todo «*quien siembra vientos recoge tempestades*».

Datos clave

- Temperatura: **2024,** +1,60 **°C; 2025,** +1,47 **°C sobre 1850-1900** (Copernicus, 2026); calentamiento humano **1,37 °C,** +0,27 **°C/década** (Forster et al., 2026).
- CO_2: **426,8 ppm en 2025,** +53 **%** (OMM, 2026).
- Emisiones: **54.100 Mt CO_2e en 2025** (EDGAR, 2026).
- Presupuesto 1,5 °C: **≈130.000 Mt, ≈3 años** (Forster et al., 2026).
- Precios del carbono: **87, ≈30 % de las emisiones** (BM, 2026); derecho UE **≈85 €/t (oct. 2026)** (EEX, 2026); MAFC **82,32 €/t (3.er trim. 2026)** (CE, 2026).
- UE: **−37 % netas en 2024 frente a 1990** (AEMA, 2025).

Autores y fechas

1920 Pigou: impuesto
1928 Ramsey: descuento
1974 Weitzman: precios o cantidades
1992 Nordhaus: DICE; CMNUCC
1994 Barrett: acuerdos autoaplicables
1997 Kioto (en vigor en 2005)
2007 Stern
2009 Weitzman: teorema lúgubre
2015 París; Burke-Hsiang-Miguel; clubes
2026 MAFC definitivo; EE. UU. sale de París

Preguntas del tribunal

1. **¿Por qué depende tanto el CSC del descuento?** 100 $ a 100 años: 24,9 $ al 1,4 %, 0,5 $ al 5,5 %.
2. **¿Nivel o crecimiento?** A la tasa, el daño se acumula: CSC mucho mayor.
3. **¿Es el MAFC un club?** No: no castiga no participar; replica el precio interno.
4. **¿Impuesto o mercado?** Stock: daño marginal casi plano ⇒ precio (Pizer).
5. **¿Kioto frente a París?** Profundo pero estrecho; amplio pero sin sanciones.

Ojo en el test

- Impuesto óptimo = CSC de la senda *óptima* (50 $), no 66.
- $r_s = \rho + \theta\gamma_c$; Stern ρ = 0,1 %.
- MAFC ≠ arancel de castigo.
- Club: 2 equilibrios (coordinación).

© 2026 Víctor Gutiérrez Marcos · Exclusivo de victorgutierrezmarcos.es y la app Oposición TCEE · DCE · uso personal