

## Resumen

Este trabajo investiga la formación y la estabilidad de los acuerdos internacionales sobre el clima (ICA, por sus siglas en inglés). Sostiene que un régimen inteligente de derechos de permisos de emisión negociables tipo *grandfathering* pueden superar algunos de los principales obstáculos en la negociación y cumplimiento de los acuerdos internacionales voluntarios. Para ello, se identifican dos aspectos principales que pueden mejorar el funcionamiento del sistema de permisos en un acuerdo internacional sobre el clima: 1) incorporar el crecimiento previsto de las emisiones y el PIB en los países en desarrollo en la distribución de los permisos de emisión (*grandfathering dinámico*), y / o 2) distribuir los permisos de acuerdo a los incentivos de las regiones a retirarse del acuerdo (*grandfathering por incentivos*).

**Palabras clave:** acuerdos climáticos internacionales, compraventa de derechos de emisión, formación de coaliciones.

## Abstract

This paper investigates the formation and stability of international climate agreements (ICAs). It argues that an intelligent grandfathering scheme for tradable emission permits can overcome some of the major obstacles in negotiating a self-enforcing international agreement. To that end, it identifies two major aspects that can improve the functioning of the permit system in an international climate agreement: 1) incorporating the expected growth of emissions and GDP in developing countries in the distribution of emission permits (*dynamic grandfathering*), and/or 2) distributing permits according to the incentives of regions to withdraw from the agreement (*incentive grandfathering*).

**Key words:** international climate agreements, tradeable emission permit, coalition formation.

**JEL classification:** C72, Q54.

# LA ESTABILIDAD DE LOS ACUERDOS CLIMÁTICOS INTERNACIONALES

Rob Dellink

Universidad Wageningen

## I. INTRODUCCIÓN (\*)

LOS problemas derivados del calentamiento global entrañan efectos externos que van más allá de las fronteras nacionales. Los daños sufridos por cada zona derivados del cambio climático están directamente, aunque de manera retardada, conectados a las emisiones de otros países, y los niveles globales de reducción de las emisiones promulgadas en los acuerdos climáticos internacionales (ICA). Algo fundamental en las negociaciones internacionales es que el acuerdo sea voluntario (*self-enforcing*), es decir, que los participantes cooperen de manera voluntaria. Sigue siendo una cuestión crucial cómo se podría implementar semejante acuerdo voluntario y qué incentivos tienen las regiones para participar en un acuerdo. Las dificultades que tuvo el Protocolo de Kioto para entrar en vigor en febrero de 2005, sin la ratificación de EE.UU., es un ejemplo de su importancia.

Ya ha quedado bien comprobado que la incorporación de la posibilidad de comerciar con los derechos de emisión aumenta la eficiencia de la política climática internacional. Böhringer y Welsh (2004) descubrieron que la compra-venta de derechos de emisión «incrementa de manera crucial la viabilidad» de una política internacional en la que se reducen las emisiones globales y convergen gradualmente las emisiones per cápita, derivando esta conclusión del hecho de que todas las regiones salen ganando, y especialmente los países en vías de desarrollo. Sin embargo, lo que no puede deducirse de su análisis es si dicho incremento del bienestar es suficiente para superar los abundantes incentivos para quienes no cooperan.

Buchner y Carraro (2005) han examinado las negociaciones internacionales y encontrado incentivos para las regiones para participar en un ICA. Incluyen la compra-venta de derechos de emisión como parte de la adopción de políticas eficientes. Los derechos de emisión se asignan de acuerdo con las directrices del Protocolo de Kioto (y de acuerdo con los niveles de funcionamiento habitual para los países en vías de desarrollo). Encuentran que los objetivos ambiciosos no resultarán atractivos para muchas regiones, incluidos los Estados Unidos y los países en vías de desarrollo, e incluso que una política basada en estrategias de disminución óptimas implica que las regiones en vías de desarrollo sufran pérdidas de bienestar.

En la literatura de teoría de juegos, el programa de derechos tipo *grandfathering* consistente en la compraventa de derechos de emisión es considerado como un plan de transferencias entre participantes en un acuerdo internacional medioambiental. Hoel (1994), Barrett (1994), Fankhauser y Kverndokk (1996), Hoel y Schneider (1997), Peck y Teisberg (1999), Finus *et al.* (2005 y 2006), Nagashima *et al.* (2009) y otros han

propuesto escenarios para incrementar la eficiencia medioambiental y estimular iniciativas voluntarias para cooperar en los acuerdos internacionales medioambientales. Los planes de transferencia son especialmente adecuados para compensar a aquellas regiones que contribuyen relativamente mucho a la atenuación dentro de la coalición, pero que obtienen beneficios relativamente bajos de la misma (por ejemplo, Edmonds *et al.*, 1995; Rose *et al.*, 1998; Tol, 2001; Altamirano-Cabrera y Finus, 2006; Weikard *et al.*, 2006). Altamirano-Cabrera y Finus (2006) demuestran que una distribución de derechos de acuerdo con un plan «pragmático», como el de las emisiones, funciona mejor para estabilizar los acuerdos internacionales medioambientales que los planes «equitativos», como son los basados en emisiones per cápita.

En todos estos estudios, los planes de transferencia están basados en un único año para asignar los derechos. Estos planes de transferencia estáticos también se observan a menudos en la realidad, como, por ejemplo, los objetivos de reducción del Protocolo de Kioto, que están diseñados como una reducción en comparación con los niveles de la década de 1990. Sin embargo, estos planes estáticos no tienen en cuenta que lo que se espera es que las futuras trayectorias de crecimiento de las emisiones se diferencien considerablemente entre regiones. En cualquier caso, la asignación de derechos basada en emisiones históricas hace que los países en rápido crecimiento, como China o India, obtienen cuotas relativamente pequeñas. Ello produce un crecimiento de las cargas que estos países en vías de desarrollo tienen que soportar para reducir sus emisiones, concepto aducido por muchos países en

vías de desarrollo para rechazar los objetivos de reducción del Protocolo de Kioto. Los planes de transferencia dinámicos, basados en las trayectorias esperadas de emisiones (1), pueden superar estos obstáculos y contribuir por lo tanto a la estabilidad de los acuerdos internacionales sobre el clima. Este tipo de planes de transferencia dinámicos se denominan a veces «*grandfathering* actualizado», ya que la asignación de derechos se actualiza cada periodo.

Además, un diseño de planes de derechos tipo *grandfathering* que estimule la participación en acuerdos internacionales funcionará mejor que otros planes en términos de eficacia global. La misma literatura sobre teoría de los juegos ha producido recientemente la noción de un plan de transferencia óptima, es decir, un plan que maximiza la participación en el acuerdo (Fuentes-Albero y Rubio, 2005; Carraro *et al.*, 2006; McGinty, 2007, y Weikard, 2008). Esencialmente, el plan de transferencia óptimo identifica los incentivos de las regiones para retirarse de un acuerdo (denominado normalmente como la «recompensa de una opción exterior») y distribuye el excedente de cooperación en proporción a estas recompensas de opciones externas. Esta noción también puede utilizarse para especificar un programa de «derechos tipo *grandfathering*» que distribuye los derechos de emisión de acuerdo con la estructura de incentivos de las regiones, es decir, proporcional a sus recompensas de opciones exteriores. Denominamos esa distribución de derechos como un programa de derechos *grandfathering por incentivos*.

Es evidente que en la práctica no resultará sencillo encontrar una trayectoria de emisiones de referencia (y un programa de derechos tipo *grandfathering* asociado) para

las próximas décadas que sea aceptable para todas las partes. Este tema se analiza en Böhringer y Lange (2005), para quienes los programas de derechos tipo *grandfathering dinámicos* pueden ser eficientes. Aunque puede haber campo para la conducta estratégica por parte de los países en la estimación de sus emisiones futuras, lo que se utiliza corrientemente son las trayectorias de emisión esperadas, por ejemplo, por el IPCC (Nakicenovic *et al.*, 2000; Carter *et al.*, 2001 e IPCC, 2007), y las trayectorias de emisión esperadas de línea de base que se suelen establecer como parte de las negociaciones internacionales.

El objetivo de este artículo es analizar el impacto de la puesta en práctica de programas de «derechos tipo *grandfathering*» dinámicos y/o basados en incentivos para la compra-venta de derechos de emisión sobre la estabilidad de las coaliciones en un escenario no cooperativo. Para ello, utilizamos un modelo aplicado para la estabilidad de las coaliciones, el STACO, introducido por Finus *et al.* (2006) y perfeccionado por Nagashima *et al.* (2009).

El artículo está organizado como sigue: el apartado II suministra el marco del modelo STACO; el III recoge los principales resultados de diferentes programas de derechos tipo *grandfathering* para la distribución de derechos de emisión negociables, y el IV contiene las conclusiones.

## II. LA ESTABILIDAD DEL MODELO DE COALICIONES (STACO)

Consideremos un juego de formación de coaliciones en dos etapas y no cooperativo. En la primera etapa, las regiones que anuncian que van a formar parte de una coalición se convierten en signatarias de una coalición única, el car-

tel, y las que anuncian que no se van a unir a la coalición siguen siendo instancias únicas. En la segunda etapa, las regiones adoptan sus estrategias de atenuación en un horizonte de planificación. Las estrategias están basadas en la función de recompensa, que representa los beneficios netos actualizados de la atenuación en el horizonte del modelo. Suponemos que los beneficios no actualizados en cada periodo dependen no sólo del nivel actual global de atenuación, sino también de la atenuación global en periodos anteriores por la reducción de las concentraciones de CO<sub>2</sub> y los niveles correspondientes de reducción de los daños; en cambio, los costes de atenuación dependen únicamente de los niveles actuales de atenuación dentro de la región.

Las regiones que no están en la coalición eligen su nivel de atenuación maximizando sus propias recompensas, dando por supuestos los niveles de atenuación de las otras regiones, mientras que los signatarios de la coalición eligen los niveles de atenuación que maximizan la suma de los beneficios de todas las regiones pertenecientes a dicha coalición, dando por supuestos los niveles de atenuación de las regiones independientes. A la situación en la que ninguna o una de las regiones se une a la coalición la denominamos «todos independientes», y cuyas trayectorias de atenuación óptimas asociadas son un equilibrio de Nash. Por otra parte, la «gran coalición» representa la coalición en la que cooperan todas las regiones y que alcanza el óptimo social. Si ninguna de las regiones puede recibir una recompensa más alta cuando cambia unilateralmente su estrategia, la estructura de la coalición se denomina estable: ningún signatario tiene un incentivo para retirar-

se de la coalición (estabilidad interna) y ninguna región independiente tiene incentivos para unirse (estabilidad externa).

El modelo STACO original está descrito en Dellink *et al.* (2004) y Finus *et al.* (2006), y ha sido actualizado y ampliado a una especificación de tipo Ramsey de carácter prospectivo por Nagashima *et al.* (2009). Aquí, nos centraremos en las principales características del modelo. Consideraremos doce regiones del mundo: EE.UU. (USA), Japón (JPN), Unión Europea - 15 (UE15), otros países de la OCDE (OOE), países del Este de Europa (EET), antigua Unión Soviética (FSU), países exportadores de energía (EEX), China (CHN), India (IND), economías asiáticas dinámicas (DAE), Brasil (BRA) y el resto del mundo (ROW). Establecemos el horizonte del modelo para que tenga en cuenta los beneficios desde la atenuación hasta el infinito, pero adoptamos un horizonte de planificación más corto de 100 años, que va de 2011 a 2110, para determinar los niveles de atenuación. Esto garantiza una reflexión adecuada sobre los aspectos a largo plazo del cambio climático, mientras que el periodo durante el que se mantiene el acuerdo internacional es limitado. En esencia, en 2010 los signatarios celebran un acuerdo que establece su trayectoria de atenuación hasta el 2110 teniendo en cuenta todos los beneficios y los costes futuros de esa trayectoria de atenuación. Los costes y beneficios futuros se descuentan según una tasa de actualización regional, utilizando la regla de Ramsey, y un índice puro de preferencia temporal del 1,5 por 100 para todas las regiones, siguiendo las reglas del Tesoro del Reino Unido (2).

Los beneficios de la atenuación representan daños evitados, que a su vez dependen del cambio de temperatura atmosférica global.

Seguimos a Nordhaus (1994) y a Germain y Van Steenberghe (2003) y nos aproximamos al sistema climático mediante un sistema lineal de tres ecuaciones (para concentraciones, forzamiento radiativo e incremento de la temperatura atmosférica, respectivamente), e ignoramos las realimentaciones no lineales entre la atmósfera y los océanos (3). Como en cálculos precedentes del STACO, calibramos la función de daños de manera que los daños globales asciendan al 2,7 por 100 del PIB para una duplicación de concentraciones sobre los niveles pre-industriales (Tol, 1997).

La función del coste de la atenuación sigue estimaciones del modelo EPPA de Ellerman y Decaux (1998). Además, asumimos un progreso tecnológico exógeno que implica una reducción de los costes de atenuación marginal del 0,5 por 100 anual. Utilizamos los datos del modelo EPPA (Babiker *et al.*, 2001; Reilly, 2005) para calibrar las trayectorias del PIB y de emisiones BAU (*business as usual*) en nuestro modelo. Dado que estos supuestos son indudablemente una simplificación y que algunos parámetros importantes del modelo están basados en estimaciones aproximadas (especialmente con respecto a los beneficios de la atenuación), los números absolutos presentados más adelante deberían ser interpretados con cautela; sin embargo, nuestra calibración ofrece una buena indicación de la posición relativa de las principales regiones del mundo.

Incorporamos la compraventa de derechos de emisión en el modelo para tener en cuenta las transferencias entre regiones en la coalición, de manera que dichos derechos de emisión sólo puedan ser negociados entre signatarios. Las transferencias implican que si una región reduce sus emisiones más de lo necesario para lograr el

<p>nivel de derechos de emisión asignados, la región puede vender derechos a otros signatarios. Por otro lado, si una región reduce sus emisiones menos del nivel de atenuación asignado, la región tiene que compensar la diferencia comprando derechos. El precio de un derecho es endógeno e igual a los costes de atenuación marginales (como resultado del análisis coste-beneficio).</p> <p>En el mercado de derechos, los derechos de emisión asignados a la región <math>i</math> en el periodo <math>t</math> se calculan como una cuota de la cantidad total de derechos entre signatarios. La cantidad total de derechos de emisión para toda la coalición es igual al nivel de emisión coalicional en equilibrio, para que los esfuerzos de atenuación de la coalición no se vean influenciados por el programa de distribución de derechos. Nos centramos en el análisis de la distribución de los derechos tipo <i>grandfathering</i> en proporción a los niveles de emisión, y hacemos referencia a Altamirano-Cabrera y Finus (2006) para una comparación de reglas alternativas basadas en la asignación para distribuir derechos de emisión.</p> <p>Para el programa de derechos <i>grandfathering</i> estático, la cuota regional se calcula sobre la base de la proporción de las emisiones regionales en 2010 con las emisiones totales de todos los signatarios en el mismo año (4). Por lo tanto, la cuota es constante a lo largo del tiempo. Para el programa de derechos <i>grandfathering</i> dinámico, utilizamos la trayectoria completa de emisiones de referencia (o BAU) sobre el horizonte del modelo sin atenuación para determinar la distribución de derechos dependiente del tiempo.</p> <p>Para el programa de derechos tipo <i>grandfathering por incentivos</i>, la determinación de la distri-</p>	<p>bución de derechos es más compleja. En primer lugar, se necesita información sobre la recompensa que obtendría una región cuando se retira del acuerdo. Todas las regiones participantes reciben todos los derechos necesarios para obtener un beneficio, después de la negociación, que sea al menos tan elevado como su recompensa si se quedan fuera, utilizando el precio de equilibrio de los derechos específico de la coalición. Si el número total de derechos es insuficiente para distribuirlos de acuerdo con esta regla, la coalición no es estable. Si se pueden distribuir más derechos de los necesarios en aras de la estabilidad, los derechos restantes pueden ser compartidos arbitrariamente entre los miembros de la coalición. Por lo tanto, existe una gama de distribuciones de los derechos tipo <i>grandfathering por incentivos</i> que maximiza la estabilidad de la coalición. En las simulaciones numéricas, asumimos que los miembros de la coalición acuerdan compartir proporcionalmente los derechos restantes.</p>	<p>tabilidad de las coaliciones, suponiendo que se llega a un único acuerdo de negociación que dura durante todo el horizonte del modelo.</p> <p>En el cuadro n.º 1, comparamos el caso en que no hay ningún programa de compraventa de derechos internacional y los diferentes programas de derechos tipo <i>grandfathering</i> con sus resultados en las posiciones extremas de ninguna cooperación y cooperación total: 1) el caso de «todos independientes», es decir, el equilibrio de Nash que resulta cuando no se puede alcanzar ningún acuerdo internacional, y 2) la «gran coalición», en la que todas las regiones participan en el acuerdo. En el caso de cooperación nula, dado que las regiones no colaboran, no hay necesidad de ningún programa de derechos, y las actividades de atenuación están determinadas por costes y beneficios marginales. Esto puede servir como base de referencia frente a la que evaluar la eficacia de las coaliciones. Aunque la vulnerabilidad ante el cambio climático es mayor en las regiones en vías de desarrollo, observamos que las recompensas, es decir, los beneficios totales menos los costes de la política del cambio climático, son mayores en EE.UU., Japón y UE15, dado que sus niveles de PIB son más elevados y, por lo tanto, un coeficiente de daños relativamente bajo en porcentaje de PIB se convierte en un gran número absoluto.</p> <p>En el caso en que no haya negociación de derechos (columna «ningún programa»), la gran coalición produce unos beneficios globales sustancialmente más elevados (casi el triple), ilustrando las enormes ganancias de la cooperación que existen en la política sobre el clima. Sin embargo, para China esta cooperación impli-</p>
---	--	--

CUADRO N.º 1

## VALOR ACTUALIZADO NETO DE LOS BENEFICIOS E INCENTIVOS PARA CAMBIAR DE AVISO (ITCA) EN MILES DE MILLONES DE DÓLARES DE EE.UU. PARA "TODOS INDEPENDIENTES" Y "GRAN COALICIÓN"

REGIONES (*)	TODOS INDEPENDIENTES		GRAN COALICIÓN							
	Todos los programas (**)		Ningún programa de derechos		Estático		Dinámico		Incentivos	
	Pagos	ITCA	Pagos	ITCA	Pagos	ITCA	Pagos	ITCA	Pagos	ITCA
USA .....	1.043	3.677	100	1.687	2.090	1.672	2.106	2.867	910	
JPN .....	893	3.571	-237	3.467	-133	3.119	215	2.530	804	
EU15 .....	1.186	4.647	-380	4.033	234	3.509	758	3.238	1.029	
OOE .....	175	466	230	-162	858	108	588	528	168	
EET .....	68	26	248	178	96	179	95	208	66	
FSU .....	325	834	422	1.170	86	417	839	953	302	
EEX .....	149	250	332	283	299	110	471	442	140	
CHN .....	258	-1.342	2.132	1.645	-854	2.488	-1.697	600	190	
IND .....	229	469	407	282	594	835	40	665	211	
DAE .....	122	194	286	343	137	242	238	364	116	
BRA .....	75	285	21	20	286	33	273	233	74	
ROW .....	337	961	337	825	473	720	579	985	313	
Global .....	4.859	14.037	3.900	13.771	4.165	13.433	4.504	13.612	4.324	

Notas: (\*) EE.UU. (USA), Japón (JPN), Unión Europea - 15 (UE15), otros países de la OCDE (OOE), Países del Este de Europa (EET), Antigua Unión Soviética (FSU), países exportadores de energía (EEX), China (CHN), India (IND), Economías asiáticas dinámicas (DAE), Brasil (BRA) y el resto del mundo (ROW).

(\*\*) Los incentivos para cambiar de aviso (ITCA) son cero por definición cuando no hay coaliciones (todos independientes).

ca niveles muy elevados de reducción, ya que es eficiente desde una perspectiva global (los costes de reducción marginales son muy bajos en China), pero no se le ofrece compensación. Por consiguiente, este escenario no es rentable para China, y no sería lógico que China co-firmara un acuerdo semejante.

Para evaluar la estabilidad de una coalición, no basta con examinar los beneficios y la rentabilidad, sino que también se necesita investigar el Incentivo Para Cambiar de Aviso (ITCA). El ITCA se calcula como el cambio de recompensa de una región, cuando una región pasara de ser un miembro de coalición a ser independiente, es decir, que cambiaría su aviso (5). Cuando el ITCA es positivo, la región tiene un incentivo para cambiar y, por lo tanto, la coalición actual no es estable. En el caso de ninguna coalición, el ITCA es cero por definición, ya que un cambio de declaración de una so-

la región tendría como resultado una insignificante coalición de una región. Para la gran coalición sin compra-venta de derechos, resulta que, aparte de China, otras nueve regiones también resultan favorecidas si abandonan la coalición: los incentivos para no cooperar son grandes. Sólo dos regiones tienen un incentivo para permanecer en esta coalición: Japón y UE15. Por lo tanto, aunque esta coalición es atractiva desde una perspectiva global, no puede alcanzarse mediante la cooperación voluntaria. Esto se corresponde con el resultado seminal de Barrett (1994), que muestra que cuando los beneficios de la cooperación son grandes, los incentivos para no cooperar también serán grandes y será imposible estabilizar las coaliciones grandes y eficaces.

La negociación de derechos puede mejorar este resultado: el incentivo de abandonar una coalición se incrementa para los com-

pradores de derechos y disminuye para los vendedores de éstos. Por lo tanto, si los compradores de derechos son aquellas regiones que se juegan mucho en la colaboración, es decir, que tienen elevados beneficios marginales, la compra-venta de derechos puede estabilizar la coalición (6). Dado que la distribución eficiente de la attenuación no se ve afectada por el programa de derechos tipo *grandfathering*, los flujos de derechos internacionales pueden ser deducidos comparando los beneficios con el caso en que no haya negociación de derechos. Por lo tanto, encontramos que tanto en el programa de derechos tipo *grandfathering* estático como en el dinámico la mayor parte de la negociación de derechos tendrá lugar entre EE.UU. como comprador y China como vendedor. Ello conduce a un enorme ITCA para EE.UU. de más de dos billones de dólares en términos de valor actualizado neto. Por otra parte, a China le compensa quedarse en

la coalición, ya que, si se marchara, tendría unos costes de atenuación espectacularmente más bajos, pero ya no podría participar en el programa de negociación de derechos. El modelo de negociación internacional es diferente en el programa de derechos tipo *grandfathering por incentivos*: en este caso, las asignaciones de derechos no están basadas en cierto nivel de emisiones, sino en los incentivos para no cooperar. El resultado es que los beneficios después de la negociación están más igualados entre regiones. Sigue siendo evidente sin embargo, que el excedente total generado por la cooperación es insuficiente para superar los incentivos de no cooperar. Por lo tanto, el ITCA sigue siendo positivo para todas las regiones. La conclusión es que no existe asignación de derechos o programa de derechos tipo *grandfathering* que soporte la participación voluntaria de todas las regiones en el acuerdo internacional sobre el clima. A menos que se investigue algún otro mecanismo de incentivos, como la vinculación de cuestiones o efectos externos tecnológicos, la gran coalición no es estable.

El cuadro n.º 2 muestra las coaliciones estables que mejor funcionan para los diferentes programas de derechos tipo *grandfathering*. En el caso en que no exista negociación de derechos, sólo una coalición es estable: de Japón y UE15. Ya hemos observado que en este

escenario estas regiones tienen un incentivo para cooperar en la gran coalición. Sin embargo, no son capaces de encontrar más socios para su coalición, ya que los elevados beneficios marginales para Japón y la UE15 implican que cualquier región que se una a esta coalición se compromete a un importante esfuerzo de atenuación, de manera que sin compensaciones no redunde en el interés propio de esa potencial región.

El programa de derechos tipo *grandfathering estático* funciona aún peor: no existe ninguna coalición estable. Aunque este programa puede resultar atractivo desde una perspectiva política, ya que no depende de pronósticos de emisión futuros y es, por lo tanto, relativamente sencillo de implementar, no canaliza los incentivos regionales hacia la cooperación. Los derechos se conceden de manera relativamente generosa a regiones con un elevado nivel histórico de emisiones como Japón y la UE15, mientras que regiones que están creciendo rápidamente, como China e India, recibirán pocos derechos, lo que supone una escasa compensación por sus esfuerzos de atenuación. De hecho, en la coalición de Japón y China (no indicada en el cuadro número 2, ya que no es estable) puede producirse la perversa situación de que la demanda de derechos en China sea tan alta que se convierta en un comprador de

derechos, y Japón en vendedor. Ello empeoraría la asignación de beneficios desde una perspectiva de estabilidad e incrementaría los incentivos para cambiar de aviso, más que para mejorar la asignación.

Un programa de derechos tipo *grandfathering dinámico* impide estos resultados anti-intuitivos, ya que tiene en cuenta las trayectorias de emisión en todo el horizonte del modelo. Por lo tanto, cuando cooperan China e India consiguen una cuota cada vez más grande de derechos a expensas de Japón y la UE15. Esto elimina el obstáculo para encontrar una coalición cuando un comprador de derechos con elevados beneficios procedentes de la cooperación, la UE15, coopera con un vendedor de derechos, China. Dado que los bajos costes marginales de atenuación de China pueden ser explotados, esta coalición es mucho más efectiva que la coalición de UE15 y Japón, que surge cuando la negociación de derechos no es posible.

Para una comparación sencilla de la eficacia de las diferentes coaliciones, hemos construido un «índicador de éxito», que mide en qué medida se cierra la brecha en relación con los beneficios entre «todos independientes» y la «gran coalición». Por lo tanto, el indicador de éxito es por definición 0 por 100 para el primer caso extre-

CUADRO N.º 2

## MEJORES COALICIONES ESTABLES

Miembros de la coalición	Valor actualizado neto de beneficios globales en miles de millones de dólares	Indicador de éxito en porcentaje
Ninguno.....	5.077	2
Estático .....	4.859	0
Dinámico.....	6.965	25
Incentivos.....	8.805	45
y otras 173 coaliciones estables		

mo y 100 por 100 para la gran coalición. El programa de derechos tipo *grandfathering dinámico* puede cubrir el hueco entre ambos extremos en un 25 por 100.

La coalición estable más efectiva se encuentra en el programa de derechos tipo *grandfathering por incentivos*. Dado que los pequeños incentivos para no cooperar se pueden superar con una compensación específica en forma de una asignación más generosa de derechos, surgen 174 coaliciones estables. La que mejor funciona de todas es la coalición de UE15, EET, CHN, IND, DAE. Esta coalición es sustancialmente más eficaz que las que se pueden obtener con los otros programas, y se queda a mitad de camino de la gran coalición. Esta coalición se analiza con más detalle en el cuadro n.º 3, donde se muestra que la UE15 compra una cantidad sustancial de derechos de los otros miembros de la coalición (véase la columna del flujo de derechos, donde un número positivo indica la compra de derechos y un número negativo su venta).

Aunque esto reduce los beneficios para la UE15, siguen siendo todavía (ligeramente) mejores que los obtenidos si abandona la coalición para ser un polizón. El programa de derechos tipo *grandfathering por incentivos* asigna a todas las regiones los derechos suficientes para hacer que permanezcan en la coalición. De esta manera, maximiza los incentivos para cooperar. En las coaliciones pequeñas, los incentivos para no cooperar son relativamente pequeños, y los beneficios adicionales generados de la cooperación (el excedente coalicional) son lo suficientemente grandes como para compensar a todos los miembros; sin embargo, en las coaliciones muy grandes este sistema falla, ya que los incentivos para no cooperar aumentan más rápidamente si crece más la coalición que el excedente coalicional. Por lo tanto, la coalición estable que mejor funciona surge cuando el excedente coalicional es suficiente para compensar a los miembros y crear ITCA que sean muy pequeños, pero negativos para todos los miembros de la coalición.

## 2. Análisis de sensibilidad

Para probar la robustez de los resultados anteriores, se llevó a cabo un análisis de sensibilidad de los principales parámetros del modelo. En las simulaciones, se cambia un parámetro para todas las regiones simultáneamente. En la mayoría de los casos, se simula una variante «baja» y «alta», en la que el parámetro del modelo se multiplica por 0,5 y 2, respectivamente. Para los daños globales, también simulamos valores muy bajos (0,25 veces) y muy altos (4 veces). Para las cuotas de daños regionales, utilizamos una serie alternativa de cuotas, tal como se sugiere en Finus *et al.* (2006), denominada «STACO calibración II», y una serie de cuotas regionales basadas aproximadamente en el bien conocido modelo RICE (Nordhaus y Boyer, 2000). En ambos casos, las cuotas de daños para EE.UU., Japón y UE15 son sustancialmente más bajas, mientras que las cuotas para la mayoría de regiones en vías de desarrollo, y especialmente para el resto del mundo (que incluye

CUADRO N.º 3

### RESULTADOS CLAVES PARA LA COALICIÓN DE UE15, EET, CHN, IND, DAE. PROGRAMA DE DERECHOS TIPO GRANDFATHERING POR INCENTIVOS

	Valor actualizado neto de beneficios [Miles de millones dólares EE.UU.]	Valor actualizado neto de transferencia [Miles de millones dólares EE.UU.]	ITCA [Miles de millones dólares EE.UU.]	Atenuación en 2011 [porcentaje de emisiones BAU]	Asignación de derechos (*) 2050 [MtC]	Flujo de derechos 2050 [MtC]
USA .....	2.164	0	-234	9,5	3.176	
JPN .....	1.768	0	-183	2,5	552	
<b>EU15 .....</b>	<b>1.668</b>	<b>-655</b>	<b>-2</b>	<b>10,3</b>	<b>1.200</b>	<b>+366</b>
OOE .....	347	0	-16	5,5	795	
<b>EET .....</b>	<b>128</b>	<b>57</b>	<b>0</b>	<b>29,0</b>	<b>403</b>	<b>-34</b>
FSU .....	648	0	-46	6,4	1.338	
EEX .....	294	0	-14	1,9	889	
<b>CHN .....</b>	<b>345</b>	<b>390</b>	<b>0</b>	<b>50,7</b>	<b>2.152</b>	<b>-252</b>
<b>IND .....</b>	<b>399</b>	<b>60</b>	<b>0</b>	<b>38,2</b>	<b>820</b>	<b>-43</b>
<b>DAE .....</b>	<b>224</b>	<b>57</b>	<b>0</b>	<b>18,3</b>	<b>551</b>	<b>-36</b>
BRA .....	147	0	-4	0,1	268	
ROW .....	674	0	-53	6,7	1.224	
Global .....	8.805	-92	-553		13.368	0

Notas: (\*) La asignación de derechos para las regiones independientes indica niveles de emisión.

África) son más altas. Para la tasa de actualización utilizamos alternativas sugeridas por Nordhaus y Stern, respectivamente. El escenario de Nordhaus tiene el mismo índice puro de preferencia temporal (1,5 por 100), pero una elasticidad marginal de utilidad de 2, mientras que nuestro escenario de base asume un 1. En el escenario de Stern, el valor de elasticidad marginal es 1, como en nuestro escenario de base, pero

aquí el índice puro de preferencia temporal es 0,01 por 100. Como consecuencia, las tasas de actualización son más elevadas en el escenario de Nordhaus, seguidas por nuestra especificación básica, mientras que el escenario de Stern proporciona las tasas más bajas.

El cuadro n.º 4 muestra que, en la mayoría de especificaciones alternativas, las coaliciones que mejor funcionan son las mismas

que en la especificación básica, y el indicador de éxito sólo se ve ligeramente afectado. Evidentemente, valores de parámetros diferentes, como daños muy elevados, por ejemplo, cambiarán el nivel de beneficios procedentes de la política climática, y por lo tanto, afectarán a los valores absolutos de beneficios. Pero, dado que este incremento se produce para todas las coaliciones, las diferencias relativas entre las distintas coali-

CUADRO N.º 4

## COALICIONES ESTABLES QUE FUNCIONAN MEJOR (INDICADOR DE ÉXITO). ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

	SIN GRANDFATHERING	GRANDFATHERING ESTÁTICO	GRANDFATHERING DINÁMICO	GRANDFATHERING POR INCENTIVOS
Especificación básica.....	JPN, EU15 (2%)	Ninguno (0%)	EU15, CHN (25%)	EU15, EET, CHN, IND, DAE (45%)
Daños globales				
Muy bajos.....	Ninguno (0%)	Ninguno (0%)	EU15, CHN (24%)	EU15, EET, CHN, IND, DAE (44%)
Bajos .....	JPN, EU15 (2%)	Ninguno (0%)	EU15, CHN (24%)	EU15, EET, CHN, IND, DAE (45%)
Altos.....	JPN, EU15 (2%)	Ninguno (0%)	EU15, CHN (25%)	EU15, EET, CHN, IND, DAE (45%)
Muy altos.....	JPN, EU15 (3%)	Ninguno (0%)	EU15, CHN (27%)	EU15, EET, CHN, IND, DAE (49%)
Forzamiento radiativo				
Bajo .....	JPN, EU15 (2%)	Ninguno (0%)	EU15, CHN (24%)	EU15, EET, CHN, IND, DAE (45%)
Alto .....	JPN, EU15 (2%)	Ninguno (0%)	EU15, CHN (25%)	EU15, EET, CHN, IND, DAE (45%)
Cuotas de daños regionales				
STACO calib. II .....	BRA, ROW (1%)	Ninguno (0%)	Ninguno (0%)	OOE, EET, FSU, EEX, CHN, ROW (49%)
Cuotas RICE .....	Ninguno (0%)	EU15, FSU (7%)	EU15, CHN (29%)	JPN, EU15, OOE, EET, FSU, EEX, CHN, IND (70%)
Costes marginales de reducción				
Bajos .....	JPN, EU15 (2%)	Ninguno (0%)	EU15, CHN (25%)	EU15, EET, CHN, IND, DAE (45%)
Altos.....	JPN, EU15 (2%)	Ninguno (0%)	EU15, CHN (24%)	EU15, EET, CHN, IND, DAE (45%)
Cambio tecnológico				
Bajo .....	JPN, EU15 (2%)	Ninguno (0%)	EU15, CHN (25%)	EU15, EET, CHN, IND, DAE (45%)
Alto .....	JPN, EU15 (2%)	Ninguno (0%)	EU15, CHN (25%)	EU15, EET, CHN, IND, DAE (45%)
Actualización				
Stern .....	JPN, EU15 (4%)	EU15, CHN (24%)	EU15, CHN (24%)	USA, EET, EEX, CHN, DAE (45%)
Nordhaus .....	JPN, EU15 (2%)	Ninguno (0%)	EU15, CHN (25%)	EU15, EET, CHN, IND, DAE (45%)

ciones no cambian mucho. Dado que los incentivos para cambiar de aviso se determinan comparando dos recompensas para diferentes coaliciones, estas diferencias relativas son lo más importante, y no los valores absolutos. Esto se confirma por dos alternativas que afectan a las diferencias relativas entre coaliciones: las cuotas de daños y las tasas de actualización.

Las diferentes cuotas de daños afectan a los beneficios obtenidos por las regiones y, por lo tanto, afectan a las diferentes coaliciones. El resultado es que diferentes regiones tienen un incentivo para colaborar. Esto se aprecia más en el caso del programa por incentivos. El resultado de «STACO calibración II» es una coalición estable que funciona bien, compuesta fundamentalmente por regiones en vías de desarrollo. La razón de este resultado no es que las coaliciones con EE.UU., Japón o UE15 no sean estables, sino que funcionan peor que la coalición que se muestra en el cuadro n.º 4. En otras palabras, si la mayoría de beneficios procedentes de la atenuación y los costes de reducción marginales más bajos pueden encontrarse en las regiones en vías de desarrollo, EE.UU., Japón y UE15 ya no son necesarios para crear un acuerdo internacional eficaz sobre el clima. El escenario con cuotas de daños basadas en el «modelo RICE» tiene como resultado coaliciones estables más grandes, y la que mejor funciona puede colmar la brecha entre «todos independientes» y la «gran coalición» en un porcentaje del 70 por 100. La razón de este resultado es que las cuotas de daños están más uniformemente distribuidas entre las regiones en esta especificación, y cuanto más homogéneos son los incentivos de los que no cooperan, son algo más fáciles de superar.

Las bajas tasas de actualización asumidas en la especificación Stern implican que los daños futuros tienen más peso en el análisis de coste-beneficio. Esto incrementa los beneficios de la política climática en países como China y en el caso del programa estático que ayuda a convencer a China para que colabore con la UE15. En el programa de derechos tipo *grandfathering* por incentivos, estabiliza una coalición que es similar a la coalición estable que mejor funciona en el escenario básico, pero sustituyendo a la UE15 por EE.UU. En el escenario básico, es necesario que las elevadas cuotas de daños de la UE15 generen beneficios suficientes a partir de la cooperación, pero con la tasa de actualización de Stern es preferible cooperar con EE.UU., ya que tiene menos costes de atenuación marginales que la UE15.

Otro resultado interesante de estos análisis es que la comparación de los diferentes programas de derechos tipo *grandfathering* es muy sólida entre los valores de parámetros elegidos: el programa dinámico mejora sustancialmente en relación con el estático o con ninguno en absoluto (excepto en dos casos en que tanto el estático como el dinámico funcionan igual), y el programa de derechos tipo *grandfathering* por incentivos siempre funciona mucho mejor que las otras especificaciones. Por lo tanto, la implicación que ello tiene a la hora de crear políticas debe ser que se preste la atención suficiente a las estructuras de incentivos de las diferentes regiones que participan en las negociaciones. Los programas de derechos tipo *grandfathering* que pueden parecer equitativos o prácticos pueden tener como resultado una coalición estable mucho menos efectiva y, en consecuencia, que sea perju-

dicial no sólo desde una perspectiva global, sino también para la mayoría de las regiones.

#### IV. OBSERVACIONES FINALES

En este artículo incorporamos diferentes programas de asignación de derechos tipo *grandfathering*, a fin de examinar la estabilidad de posibles coaliciones climáticas en un juego de cártel. Sostenemos que un programa *grandfathering dinámico*, basado en la trayectoria de las emisiones de referencia, en lugar de centrarse en un único año base histórico, puede superar algunos de los obstáculos más importantes de las negociaciones internacionales incorporando el rápido crecimiento de las emisiones en los países en vías de desarrollo a la distribución de derechos de emisión. Aunque este sistema no es capaz de estabilizar las coaliciones más grandes, el programa dinámico puede inducir una combinación más efectiva de socios de coalición (en nuestras simulaciones, una coalición de UE-15 y China). Mejor aún es la implementación de un programa *grandfathering por incentivos*. Encontramos que este tipo de programa puede contribuir a la estabilidad de acuerdos climáticos internacionales mucho más efectivos y con más regiones participantes. Sin embargo, un acuerdo global entre todas las regiones participantes no es estable, ya que los incentivos para no cooperar son demasiado grandes para ser superados por un plan de compra-venta de derechos de emisión, por muy inteligentemente que haya sido diseñado el programa *grandfathering*.

Además del sistema del plan de transferencias, la serie resultante de coaliciones estables también se ve afectada de manera importante por los beneficios regionales calibrados procedentes de la atenua-

<p>ción, es decir, por las estimaciones de daños regionales. Otros aspectos del modelo, como las estimaciones de los costes de atenuación regionales, tienen menos impacto sobre los resultados del modelo y no afectan al tipo de coalición que surgirá como la coalición estable que mejor funciona. Por último, los niveles de daños globales tampoco son un determinante principal de la estabilidad de las estructuras de coalición, ilustrando que la formación de coaliciones internacionales es una cuestión de costes y beneficios relativos para las regiones. En consecuencia, unas arquitecturas de acuerdos internacionales eficaces tienen que explotar las oportunidades que crean las diferencias regionales y superar dichas diferencias cuando sea necesario.</p>	<p>ción regionales. Por lo tanto, cualquier transferencia futura de dinero desde una región con una baja tasa de actualización (fundamentalmente las regiones de la OCDE) a una región con una elevada tasa de actualización (aproximadamente las regiones que no son de la OCDE) reducirá el valor actualizado neto de los beneficios globales.</p>	<p>veness of energy agreements to alter trajectories of atmospheric carbon dioxide emissions», <i>Energy Policy</i>, 23: 309-335.</p>

## NOTAS

(\*) El autor agradece especialmente a Ekko van Ierland, Hans-Peter Weikard, Michael Finus y Miyuki Nagashima sus valiosas aportaciones al tema; se aplica el habitual descargo de responsabilidad.

(1) Esas trayectorias de emisión de referencia se construyen suponiendo que no se implemente una política climática (adicional). Suelen ser denominadas pronósticos de línea de base o *business-as-usual*.

(2) Como las primeras simulaciones STACO asumieron una tasa de actualización constante del 2 por 100 para todas las regiones, los resultados numéricos de este artículo diferirán de los registrados en, por ejemplo, NAGASHIMA *et al.* (2009).

(3) DELLINK *et al.* (2008) estiman empíricamente el modelo simplificado y encuentran que se adapta muy bien al modelo no lineal más grande, sin incluir los efectos de retroalimentación (*feedbacks*).

(4) Utilizamos niveles de 2010, ya que es el año de base de nuestros cálculos. Utilizar niveles de emisión de 1990 en lugar de los de 2010 no influye en los principales resultados cualitativos y empeora la posición de regiones en rápido crecimiento, como China (el autor dispone de resultados bajo petición).

(5) Adoptamos el supuesto común de que las otras no cambian de aviso (es decir, desviaciones simples), y se dejan cuestiones como la visión de futuro para próximos estudios.

(6) Observar que a diferencia de NAGASHIMA *et al.* (2009), adoptamos tasas de actualiza-

## BIBLIOGRAFÍA

- ALTAMIRANO-CABRERA, J.C., y FINUS, M. (2006), «Permit trading and stability of international climate agreements», *Journal of Applied Economics*, 9, 1: 19-47.
- BABIKER, M.H.; REILLY, J.M.; MAYER, M.; ECKAUS, R.S.; WING, I.S. y HYMAN, R.C. (2001), «The MIT emissions prediction and policy analysis (EPPA) model: revisions, sensitivities and comparison of results», MIT joint program on the science and policy of global change, Report n.º 71, Cambridge.
- BARRETT, S. (1994), «Self-enforcing international environmental agreements», *Oxford Economic Papers*, 46: 878-894.
- BÖHRINGER, C., y WELSCH, H. (2004), «Contract and converge of carbon emissions: an intertemporal multi-region CGE analysis», *Journal of Policy Modeling*, 26: 21-39.
- BÖHRINGER, C., y LANGE, A. (2005), «On the design of optimal grandfathering schemes for emission allowances», *European Economic Review*, 49: 2041-2055.
- BUCHNER, B., CARRARO, C. (2005), «Modelling climate policy: perspectives on future negotiations», *Journal of Policy Modeling*, 27: 711-732.
- CARRARO, C.; EYCKMANS, J., y FINUS, M. (2006), «Optimal transfers and participation decisions in international environmental agreements», *Review of International Organizations*, 1: 379-396.
- CARTER, T.R.; LA ROVERE, E.L.; JONES, R.N.; LEEAMANS, R.; MEARNS, L.O.; NAKICENOVIC, N.; PITTOCK, A.B.; SEMENOV, S.M., y SKEA, J. (2001), «Developing and applying scenarios», en IPCC (eds.), *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability*, Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report, Cambridge University Press, Cambridge.
- DELLINK, R.; ALTAMIRANO-CABRERA, J.C.; FINUS, M.; van IERLAND, E.; RIJJS, A., y WEIKARD, H.P. (2004), «Empirical background paper of the STACO model», mimeo, Wageningen University.
- DELLINK, R.B.; DE BRUIN, K.C., y DE RUITER, M. (2008), «Fitting the original linear climate model to the revised DICE model: a regression analysis», de próxima aparición, Institute for Environmental Studies, VU University Amsterdam.
- EDMONDS, J.; WISE, M., y BARNS, D.W. (1995), «Carbon coalitions: The cost and effecti-
- veness of energy agreements to alter trajectories of atmospheric carbon dioxide emissions», *Energy Policy*, 23: 309-335.
- ELLERMAN, A.D., y DECAUX, A. (1998), «Analysis of Post-Kyoto CO<sub>2</sub> emissions trading using marginal abatement curves», MIT joint program on the science and policy of global change, Report n.º 40, Cambridge.
- FANKHAUSER, S., (1995), *Valuing Climate Change: The Economics of the Greenhouse*, Earthscan, Londres.
- FANKHAUSER, S., y KVERNDOKK, S. (1996) «The global warming game – Simulations of a CO<sub>2</sub> reduction agreement», *Resource and Energy Economics*, 18: 83-102.
- FINUS, M.; ALTAMIRANO-CABRERA, J.C., y van IERLAND, E. (2005), «The effect of membership rules and voting schemes on the success of international climate agreements», *Public Choice*, 125: 97-127.
- FINUS, M.; van IERLAND, Y.E., DELLINK, R. (2006), «Stability of climate coalitions in a cartel formation game», *Economics of Governance*, 7: 271-291.
- FUENTES-ALBERO, C., RUBIO, S.J. (2005), «Can the international environmental cooperation be bought», mimeo.
- GERMAIN, M., y VAN STEENBERGHE, V. (2003), «Constraining equitable allocations of tradable CO<sub>2</sub> emission quotas by acceptability», *Environmental and Resource Economics*, 26: 469-492.
- HOEL, M. (1994), «Efficient climate policy in the presence of free riders», *Journal of Environmental Economics and Management*, 27 (3): 259-274.
- HOEL, M., y SCHNEIDER, K. (1997), «Incentives to participate in an international environmental agreement», *Environmental and Resource Economics*, 9: 153-170.
- IPCC (2007), *4<sup>th</sup> Assessment Report*.
- MCGINTY, M. (2007), «International environmental agreements among asymmetric nations», *Oxford Economic Papers*, 59: 45-62.
- NAGASHIMA, M.; DELLINK, R.; van IERLAND, y E., WEIKARD, H.P. (2009), «Dynamic transfer schemes and stability of international climate coalitions», *Ecological Economics*, 68: 1476-1487.
- NAKICENOVIC, N.; ALCAMO, J.; DAVIS, G.; DE VRIES, B.; FENHANN, J.; GAFFIN, S.; GREGORY, K.; GRÜBLER, A.; JUNG, T.Y.; KRAM, T.; LA ROVERE, E.L.; MICHAELIS, L.; MORI, S.; MORITA, T.; PEPPER, W.; PITCHER, H.; PRICE, L.; RIAHI, K.; ROEHL, A.; ROGNER, H.H.; SANKOVSKI, A.; SCHLESINGER, M.; SHUKLA, P.; SMITH, S.; SWART, R.; van ROOIJEN, S.; VICTOR, N.; DADI, Z (2000), «Special report on emissions scenarios», en IPCC (eds.), *Special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge.

<p>NORDHAUS, W.D. (1994), <i>Managing the global commons</i>, MIT Press, Cambridge.</p> <p>NORDHAUS, W. D., y BOYER, J., (2000), <i>Warming the World: Economic Models of Global Warming</i>, Cambridge University Press, Cambridge.</p> <p>PECK, S.C., y TEISBERG, T.J. (1999), «CO<sub>2</sub> emission control agreements: incentives for regional participation», <i>The Energy Journal</i>, 20: 367-390.</p>	<p>REILLY, J.M. (2005), «Emission paths in the MIT-EPPA model». Personal communication.</p> <p>ROSE, A.; STEVENS, B.; EDMONDS, J., y WISE, M. (1998), «International equity and differentiation in global warming policy: an application to tradeable emission permits», <i>Environmental and Resource Economics</i>, 12: 25-51.</p> <p>TOL, R.S.J. (1997), <i>A decision-analytic treatise of the enhanced greenhouse effect</i>, Ph.D. Thesis, Vrije Universiteit, Amsterdam.</p>	<p>— (2001), «Climate coalitions in an integrated assessment model», <i>Computational Economics</i>, 18: 159-172.</p> <p>WEIKARD, H.P. (2008), Cartel stability under an optimal sharing rule», <i>The Manchester School</i>, de próxima aparición.</p> <p>WEIKARD, H.P.; FINUS, M., y ALTAMIRANO-CABRE-RA, J.C. (2006), «The impact of surplus sharing on the stability of international climate agreements», <i>Oxford Economic Papers</i>, 58: 209-232.</p>
---	---	--