

Resumen

Problemas medioambientales globales, como el cambio climático, se ajustan al planteamiento del «dilema del prisionero» generando una solución ineficiente y un fracaso en posibles acuerdos. En este trabajo se analiza qué condiciones deben darse para superar dicha ineficiencia y para que los acuerdos cumplan su objetivo. Las posibles alternativas al dilema del prisionero analizadas son: que se produzca un incremento notable de la contaminación, que el acuerdo sea de obligado cumplimiento mediante el establecimiento de multas, que exista un mercado eficiente de CO₂ y que algún país tome la iniciativa de ser líder en el cambio tecnológico necesario para reducir la contaminación. El análisis de estas cuatro posibilidades muestra que, para que el Protocolo llegue a cumplirse, debe conjugarse el desarrollo de tecnologías limpias con medidas económicas más eficientes que las puestas en marcha hasta el momento.

Palabras clave: teoría de juegos, dilema del prisionero, Protocolo de Kioto.

Abstract

Global environmental problems, such as climate change, can be studied using the approach of the «prisoner's dilemma», which generates an inefficient solution and the failure of potential agreements. This paper analyses the conditions which must be met in order to overcome such inefficiency, and the agreements necessary to meet their goals. The potential alternatives within this prisoner's dilemma that are reviewed in this paper are as follows: a significant increase in pollution is occurring; compliance with the agreement must be obtained through the introduction of penalties; there exists an efficient CO₂ market; and one country shall assume the leadership for the technological change necessary to reduce pollution. The analysis of these four possibilities shows that in order to meet the objectives of the Protocol, the development of clean technologies should be combined with economic measures that are more effective than those implemented thus far.

Key words: game theory, prisoner's dilemma, Kyoto Protocol.

JEL classification: C72, Q50.

ESTRATEGIAS ANTE KIOTO: UNA VISIÓN DE TEORÍA DE JUEGOS

Yolanda FERNÁNDEZ FERNÁNDEZ
M.^a Ángeles FERNÁNDEZ LÓPEZ
Blanca OLMEDILLAS BLANCO

Universidad Autónoma de Madrid

I. INTRODUCCIÓN

DESDE el punto de vista económico, el clima, y más concretamente la estabilidad del clima, es un bien público global, no rival y no excluyente en su consumo. Así, el cambio climático es una externalidad mundial, lo que supone una divergencia entre los costes privados y los costes sociales de las emisiones que reduce la eficiencia económica. Evidentemente, cada una de las medidas para disminuir el daño causado por el cambio climático conlleva un coste, y cada una de ellas debe evaluarse en relación con un escenario de no intervención. Por tanto, es necesaria una evaluación previa del beneficio neto de cada opción, y es aquí donde la economía adquiere un papel prioritario.

Dada la dimensión transfronteriza del cambio climático, su solución requiere el planteamiento de políticas económicas de ámbito internacional, en las que se ven involucrados numerosos países y en las que prima la estrategia a seguir por cada uno. Por ello, la teoría de juegos es una buena herramienta para su análisis. Es de general aceptación que el conocido planteamiento del «dilema del prisionero» se puede aplicar a problemas ambientales globales, y en particular al cambio climático, debido a las características del bien negociado en el acuerdo. Puesto que esto genera una solución ineficiente desde el punto de

vista global y un fracaso en el acuerdo, nuestro objetivo es analizar qué condiciones deben darse para superar dicha ineficiencia y que los acuerdos cumplan su objetivo.

El trabajo se estructura en tres apartados tras esta introducción: en el II, planteamos el problema del cambio climático y cómo la teoría de juegos nos conduce a un dilema del prisionero; en el III analizamos posibles estrategias alternativas en función de las medidas y las iniciativas que tomen los distintos países, y en el IV se establecen las conclusiones más relevantes de este trabajo.

II. EL CAMBIO CLIMÁTICO Y LA TEORÍA DE JUEGOS: EL DILEMA DEL PRISIONERO (1)

El dilema del prisionero ilustra las dificultades para conseguir que un país ratifique un acuerdo internacional voluntario de mejora ambiental como el Protocolo de Kioto. También refleja las dificultades de su consecución, dado que no existe un órgano supranacional que penalice su no cumplimiento (2).

Asumimos que la aplicación del Protocolo de Kioto y su cumplimiento implica, principalmente, la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero. Los resultados posibles dependen entonces de las estrategias que pue-

den seguir los países: «reducir», llevando a cabo medidas específicas, o «no reducir» dichas emisiones. El beneficio para cada país depende de la reducción total que se consiga, al ser un bien público global, pero los costes de implementar las medidas reductoras sólo los soporta el propio país y podrían tener consecuencias macroeconómicas rápidas y de amplio alcance.

Es importante destacar que, en este tipo de juegos, para tomar la decisión final lo relevante no es la cardinalidad, sino la ordinalidad de los resultados. Es decir, para decidir qué estrategia tomar, sólo tiene importancia el orden. Es indiferente cuánto mayor o menor sea un número respecto a otro, o el número concreto, ya que sólo tiene relevancia la igualdad o desigualdad entre ellos. El resultado depende de la estrategia que elija cada país y de lo que hagan mayoritariamente el resto de los países. Suponemos que los países que se están planteando si adoptar o no el Protocolo de Kioto son iguales en cuanto a su contribución al efecto invernadero y en cuanto a su percepción de los costes necesarios para adaptarse a dicho Protocolo. Sin embargo, el mundo se caracteriza por su complejidad en términos de actores heterogéneos y pluralismo institucional, lo que, sin duda, abre las puertas a nuevas investigaciones.

Tomemos un país *A* que se está planteando como estrategias entre las que elegir si ratificar el tratado (y cumplirlo) o no. Si *A* reduce sus emisiones y son pocos los países que hacen lo mismo, tendrá más costes que beneficios, lo que podemos indicar con un número negativo, -10. En efecto, soportaría los costes de reducir la emisión de CO₂, por ejemplo, con tecnología más eficiente y costosa, lo que supondría un aumento en los precios de sus productos

nacionales y una pérdida de competitividad en el comercio internacional, y ello implicaría una reducción de las exportaciones y un aumento de las importaciones. Sin embargo, dado que el aire limpio es un bien libre, la pequeña reducción en la contaminación por parte del país *A* en el ámbito global podría ser insignificante y, en caso de tener repercusión sobre el cambio climático global, la disfrutarían todos los países.

Por otra parte, si *A* decide no reducir sus emisiones y los demás países tampoco (o muy pocos lo hacen), se ahorra los costes de reducción, por lo que el resultado tiene que ser mejor que el anterior, pongamos 0. En el caso totalmente opuesto, cuando *A* y un número considerable de países reducen las emisiones, los beneficios para *A* son superiores a los costes, puesto que disfruta de las externalidades positivas que supone el que muchos reduzcan la emisión de CO₂. En este caso, supongamos que ascienden a 10. Pero el beneficio para *A* podría ser mayor si, ratificando el acuerdo un gran número de países, *A* se comporta como *free rider* y consigue disfrutar de los beneficios externos sin incurrir en ningún coste. Por ejemplo, un beneficio de 20. Esta información se presenta en una matriz de pagos (cuadro n.º 1), en la que sólo se recogen los resultados para el país *A*, según las estrategias elegidas.

Tanto si son muchos como si son pocos los países que se suman al Protocolo de Kioto, la mejor estrategia para *A* es no reducir sus emisiones, puesto que su beneficio neto es mayor. *A* tiene una estrategia dominante. Si la mayor parte de los países se comporta como *A*, y no disminuyen las emisiones, tendrá una ganancia de 0, inferior a la conseguida si cooperaran, ratificaran y cumplieran el acuerdo, en cuyo caso la reducción de la contaminación les proporcionaría un beneficio neto de 10 a cada uno. Se alcanza, por tanto, un equilibrio de Nash, puesto que ningún país puede mejorar cambiando de estrategia, dada la táctica del resto.

El comportamiento racional conduce a una situación que no es Pareto óptima, puesto que todos los países podrían mejorar cooperando y reduciendo la contaminación. Si la situación se repite infinitamente en el tiempo, los mejores resultados los presenta la estrategia «ojo por ojo», donde *A* reduce emisiones si el resto de países decide cooperar y reducir las emisiones.

En un juego repetido infinitamente, las ganancias de cooperar y reducir son superiores a las de no reducir y no cooperar, ya que si la interacción entre países se repite un número finito de veces, ante la amenaza de que el otro incumpla el acuerdo, el país

CUADRO N.º 1

ACUERDO PLURAL SOBRE EMISIONES

		EL RESTO DE PAÍSES	
		Pocos reducen	Muchos reducen
PAÍS A	Reduce	-10	10
	No reduce	0	20

Fuente: Elaboración propia.

A tiene incentivos a no reducir desde la primera ronda o interacción. A pesar de ello, en el caso del Protocolo de Kioto no se está alcanzando ese esperable grado de cooperación. Y es porque hay que tener en cuenta varios aspectos que, en este caso, son relevantes.

En primer lugar, el número de países que interviene es muy elevado, y las ganancias y los costes del proceso no se reparten equitativamente entre ellos. En segundo lugar, lo que se está negociando en este juego presenta unas características muy peculiares, puesto que la emisión de CO₂ es una externalidad negativa sobre un bien público, como es el medio ambiente, que incentiva especialmente el comportamiento de *free rider*. En tercer lugar, el juego ya ha comenzado y estamos situados en un equilibrio de Nash en el cual, mayoritariamente, no se reducen las emisiones. Que el país A reduzca las emisiones y el resto «coopere» con él y también reduzca («ojo por ojo») sólo será posible si el beneficio de la cooperación es suficientemente alto y/o existe miedo a las represalias y éstas les afectan significativamente en el futuro (además, las represalias deben ser creíbles para que surtan efecto).

Todo esto explica, en términos económicos, por qué está resultando tan difícil que los países ratifiquen el tratado (EE.UU., China, India, Australia,...) e incluso que los que lo han firmado lo cumplan (España, Italia,...). Si economías avanzadas, como EE.UU., y mercados emergentes y en desarrollo —como China, Brasil, India y Rusia— no entran en el juego, la reducción de las emisiones de CO₂ será pequeña, extremadamente costosa y políticamente insostenible para los países que la apoyen, dado el gran volumen de emisio-

nes que se prevé que durante los próximos cincuenta años provengan de estos países.

Sólo en el caso de que los beneficios netos no se ajustaran a la lógica del dilema del prisionero la solución sería distinta. Por tanto, la cuestión que nos planteamos ahora es: ¿qué puede modificar la matriz de pagos lo suficiente como para que los países terminen ratificando y cumpliendo el Protocolo de Kioto? Y, aun suponiendo cambios decisivos en los beneficios netos que modificarán la situación final, ¿hacia dónde nos dirigimos?

III. OTRAS ESTRATEGIAS ANTE KIOTO

Desde nuestro punto de vista, hay cuatro motivos por los que puede ratificarse y cumplirse el Protocolo de Kioto:

1) *En primer lugar*, los países que aún no lo han ratificado podrían hacerlo si tiene lugar un aumento significativo de la contaminación atmosférica, que ponga en evidencia la necesidad de reducir las emisiones (3).

En este caso, la mejor opción, hagan lo que hagan el resto de los países, es reducir las emisiones. Si pocos reducen sus emisiones y A decide reducir, sus pérdidas serán de -15, pero no tendrá

incentivos a cambiar su comportamiento y no reducir, porque eso supondría pérdidas mayores, de -20. Si son muchos los que reducen sus emisiones, A estará mejor reduciendo también y obteniendo un beneficio de 10, en lugar de 0 (véase el cuadro n.º 2).

Si todos los países reducen sus emisiones, incluido A, los resultados para todos serán positivos, puesto que se producirán los beneficios de ralentizar el cambio climático de forma segura y manifiesta. Pero, ¿qué puede, en este caso, motivar a un país a no comportarse como un gorrón y no disfrutar de las mejoras sin incurrir en ningún coste?

En nuestra opinión, la respuesta es que si el país A se comporta como un gorrón incurre en costes añadidos que superan los beneficios derivados de su comportamiento. Por ejemplo, si el resto de los países introduce barreras al comercio de sus productos, fabricados con procesos emisores de CO₂. Así ocurre cuando la sensibilización de los consumidores es elevada y manifiestan su preocupación por el cambio climático adquiriendo productos «verdes» y reducen las demandas de los productos nacionales contaminantes. En estos casos, no introducir medidas supone costes en términos de pérdidas de mercados, de PIB y de empleo.

Por otra parte, si aceptamos la posibilidad de que el país A pue-

CUADRO N.º 2

ACUERDO PLURAL SOBRE EMISIONES SI EL CAMBIO CLIMÁTICO ES EVIDENTE Y COSTOSO

		EL RESTO DE PAÍSES	
		Pocos reducen	Muchos reducen
País A	Reduce	-15	10
	No reduce	-20	0

Fuente: Elaboración propia.

da beneficiarse de las reducciones de los demás sin asumir elevados costes, la matriz de pagos podría tener dos equilibrios de Nash, sin que podamos ofrecer a priori la solución al juego. Serían equilibrios de Nash tanto que pocos reduzcan y A lo haga (no tiene incentivos a no reducir y empeorar más) como obtener unos beneficios de 20 si opta por ser un *free rider* y disfrutar de las externalidades generadas cuando muchos países reducen la contaminación (tampoco tiene motivos para modificar su comportamiento y entrar a reducir, pues eso supone costes que disminuyen sus beneficios a 10). El cuadro n.º 3 muestra este ejemplo.

2) *En segundo lugar*, y desde un punto de vista meramente institucional, lograríamos modificar los resultados de la matriz de pagos, y por tanto la solución del juego, si se consigue que el acuerdo sea de obligado cumplimiento. Éste es el caso de la UE, cuyos

países están sometidos a acuerdos vinculantes. La normativa europea sí permite el uso de multas si no se consiguen los objetivos de reducción de las emisiones de CO₂ al nivel establecido. En este caso, los incentivos a cumplir el acuerdo son mayores, aunque están en función de la cuantía de la penalización. Para que la multa sea efectiva, su valor debe ser superior a la diferencia entre los beneficios netos de no reducir y los de reducir. Volviendo a la matriz de pagos del cuadro n.º 1, tiene que ser superior a la diferencia entre las casillas de la 2ª columna de la matriz de pagos (10-20), es decir, mayor a -10. Con una multa, por ejemplo, por valor de -15 ya no estaríamos ante un dilema del prisionero, y al país A le interesa reducir las emisiones de gases contaminantes, independientemente de lo que haga el resto. En este caso la situación de equilibrio de Nash estaría donde muchos países, incluido A, reducen sus emisiones (cuadro n.º 4).

3) *En tercer lugar*, en un ámbito teórico, la asignación de derechos de propiedad bien definidos y la generación de un mercado para estos derechos permitirá internalizar los costes externos de la contaminación y producir una cantidad óptima de bienes y servicios, y de contaminación.

Para que motive cambios de estrategia entre países, la puesta en marcha de este mercado requiere que se limite la oferta —la cantidad total de derechos de emisión— y que la asignación inicial sea adecuada. Así, los precios del carbono deben cotizar al alza de forma continua en el largo plazo. Sólo en ese caso inducirán cambios en los valores de la matriz de pagos en una cuantía lo suficientemente amplia como para modificar la estrategia de los países. Si A reduce, es cierto que soporta los costes de implicarse en este proyecto, pero eso significa que tendrá derechos excedentarios que venderá en el mercado de carbono. Partiendo de los datos expuestos en la matriz 1, y suponiendo que el valor de esos derechos en el mercado mundial alcanza un valor de 8, eso implica cambios en toda la fila asociada a la estrategia «reducir», que ahora tendría valores de -2 si pocos reducen y de 18 si son muchos los que reducen, puesto que se suponen ingresos para el país A, que vende esos derechos (cuadro n.º 5).

Sin embargo, si A no reduce, la situación es la contraria. Necesita comprar derechos de emisión, lo que en el corto plazo conlleva más costes. Supongamos que sus necesidades de derechos de emisión también ascienden a un valor de 8. En ese caso, sobre los valores de la matriz 1, implica un cambio en la segunda fila que refleja reducciones en los ingresos del país A, si pocos reducen,

CUADRO N.º 3

ACUERDO PLURAL SOBRE EMISIONES SI EL CAMBIO CLIMÁTICO ES EVIDENTE, PERO A PUEDE SER *FREE RIDER*

		EL RESTO DE PAÍSES	
		Pocos reducen	Muchos reducen
PAÍS A	Reduce	-15	10
	No reduce	-20	20

Fuente: Elaboración propia.

CUADRO N.º 4

ACUERDO PLURAL SOBRE EMISIONES CON MULTAS DE GRANDES CUANTÍAS (MULTA = -15)

		EL RESTO DE PAÍSES	
		Pocos reducen	Muchos reducen
PAÍS A	Reduce	-10	10
	No reduce	-15	5

Fuente: Elaboración propia.

CUADRO N.º 5

**COMERCIO DE DERECHOS DE EMISIÓN CON UN PRECIO ELEVADO
DEL DERECHO DE EMISIÓN**

		EL RESTO DE PAÍSES	
		Pocos reducen	Muchos reducen
PAÍS A	Reduce	-2	18
	No reduce	-8	12

Fuente: Elaboración propia.

hasta -8, y si muchos reducen, hasta 12. Esta situación se caracterizaría por un mercado en competencia perfecta, en el cual el cambio de actuación de una parte no afecta a la totalidad del mercado. Los países, en este caso, son precio aceptantes. Por eso se atribuye el mismo precio a los derechos si el país A es comprador que si es vendedor de emisiones de carbono.

El elevado coste de comprar derechos hace que cambie la estrategia dominante: la mejor alternativa para A, independientemente de lo que hagan los otros, es reducir las emisiones de CO₂ y vender derechos de emisión.

Sin embargo, no parece que en el caso de la Unión Europea el mercado de carbono haya conducido a un cambio radical en las estrategias de los países. De hecho, es patente y notorio que se están incumpliendo los acuerdos firmados, y se urge a los países a tomar medidas. ¿A qué se debe? La principal razón estriba en que no se han cumplido las condiciones necesarias para generar un mercado eficiente de derechos de propiedad. En este sentido, una «sobresignación» inicial de derechos por parte de los gobiernos de la UE, y además de forma gratuita, ha dificultado el buen funcionamiento del mercado, puesto que la inexistencia de escasez ha obstaculizado la formación de precios por el

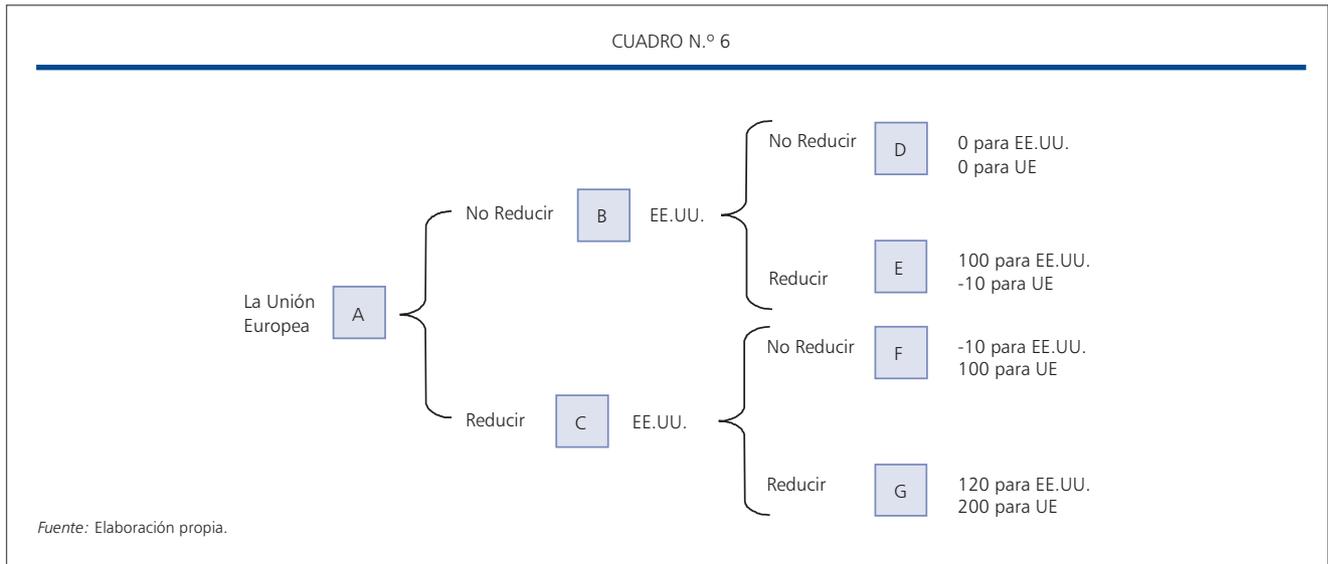
propio mercado y la libre interacción de sus participantes. El precio del derecho de emisión ha alcanzado cifras muy bajas, y no se ha incentivado a las empresas a reducir sus emisiones, sino a acudir al mercado a comprar los derechos necesarios para cumplir la normativa. Por tanto, no se ha modificado lo suficiente la matriz de pagos. Pero hay que tener en cuenta que hay otros factores que han influido, y van a influir, en el comercio de emisiones y en el valor final del derecho de emisión, entre los que cabe destacar las fluctuaciones cíclicas de la economía. Los costes serán menores si se implanta una meta de reducción en el medio plazo, pero se les permite variar sus emisiones a lo largo del ciclo económico.

4) *En cuarto lugar*, si los países que inicialmente decidieron invertir en la reducción de emisiones han desarrollado una tecnología limpia y han creado incentivos para que las personas y las empresas opten por usar productos y tecnologías más eficientes y de bajas emisiones, se convertirán en líderes en el sector del bien que fabrican con procesos limpios, pero no por eso más costosos. En ese caso, los países a los que hasta ahora no les ha interesado participar en el Protocolo se convertirán en seguidores de los que movieron ficha inicialmente (4). Podemos suponer que es una carrera de fondo, donde el país que desa-

rolle la tecnología más eficiente (incluidos los costes de contaminar) obtiene mejores productos a un menor coste por unidad. Adicionalmente, es probable que sean más demandados al tratarse de productos «verdes».

El comportamiento de los jugadores-duopolistas se puede ajustar al modelo de Stackelberg, en el que uno de los países es el primero en fijar su estrategia (5). Este país será el primero en lanzar nuevos productos menos contaminantes al mercado y va a elegir primero el nivel de producción que maximiza sus beneficios. Lo va a hacer teniendo en cuenta los costes medioambientales que su producción genera. Por esa razón, va a fomentar la inversión en I+D+i, desarrollando tecnologías limpias, e introduciendo productos nuevos y más avanzados en el mercado con menores costes en el largo plazo. Además de fijar su estrategia en primer lugar, tiene en cuenta cómo va a reaccionar el segundo país, que lo hace como seguidor. Y la decisión que va a tomar es producir reconociendo la problemática medioambiental que genera su actuación e intentando adaptarse, primero, a las nuevas tecnologías, más eficientes, en el corto plazo, y segundo, a la demanda de productos menos contaminantes en su producción y en su consumo. La presión de la demanda y la producción del país líder harán que el país seguidor tenga que cambiar su sistema productivo, adquiriendo la tecnología en el exterior o haciendo un esfuerzo para su desarrollo en el corto plazo.

¿Interesa ser el país líder, el que decide primero? Sí, puesto que obtiene mejores resultados que el seguidor, que se ve forzado a adoptar la conducta del primero. Además, no todos los países están en posición de asumir el pa-



pel del líder. Es el caso de India o China, países muy contaminantes cuyo nivel tecnológico es menor que el de los países más desarrollados, y donde la demanda tampoco presiona exigiendo productos limpios. Consideramos, por tanto, que las posibilidades de liderazgo recaerán en EE.UU. o la UE, y analizamos por qué le interesa ser líder a uno de los dos.

Supongamos, como acabamos de decir, que los participantes en este juego son EE.UU. y la UE, y que esta última se está planteando reducir las emisiones de CO₂. De hecho, sólo la UE ha firmado el Protocolo de Kioto y está llevando a cabo medidas para su cumplimiento. Representamos las decisiones (cuadro n.º 6) en un «árbol de juego» (6).

Si el primero que actúa es Europa, el juego comienza en el punto A. Las dos primeras ramas del juego representan las opciones de la UE (reducir o no reducir). La mitad inferior del árbol representa la opción de que la UE reduzca sus emisiones gracias a las inversiones en tecnología limpia. Si la UE elige esta opción, EE.UU. se encuentra en el punto C. Si no re-

duce, el punto F muestra que EE.UU. produce de forma más costosa y puede perder mercado (-10), mientras que la UE será líder en el sector, aunque sufra las externalidades del oponente, y conseguirá 100. Si EE.UU. reduce también las emisiones, nos situamos en el punto G. Actuará como país seguidor, con lo que ambos evitan el cambio climático y disfrutan en este sentido de beneficios, pero, en términos netos, los beneficios son inferiores para el seguidor, que se queda con la parte del mercado que le deja el líder: 120 para EE.UU. y 200 para la UE.

Dados los rendimientos supuestos en cada uno de los resultados del árbol, la UE puede analizar lo que hará EE.UU. en cada

opción. Si la UE no reduce (punto B), la mejor opción para EE.UU. es reducir (0 < 100) (punto E). Si la UE reduce (C), la mejor opción también es reducir (-10 < 120, punto G). Por lo tanto, la UE sabe que si EE.UU. es un maximizador de resultados, el juego terminará o en el punto E o en el punto G. De las dos opciones, la UE obtiene los mejores resultados en G, es decir, invirtiendo en el desarrollo de nuevas tecnologías más limpias para ser el primero en el desarrollo de la industria y obligar al resto de los países a actuar como seguidores. El cuadro n.º 7 muestra estos resultados en una matriz de pagos.

La cuestión que quedaría pendiente de resolver es: ¿por qué se comportaría de forma estratégica

CUADRO N.º 7

LÍDER - SEGUIDOR EN REDUCCIÓN DE EMISIONES Y TECNOLOGÍA LIMPIA

		EE.UU.	
		Reduce	No reduce
UNIÓN EUROPEA	Reduce	200,120	100,-10
	No reduce.....	-10,100	0,0

Fuente: Elaboración propia.

un determinado país y no el otro? Conociendo este planteamiento, ¿EE.UU. no querría también actuar como la UE? Si los dos países actúan como líderes y piensan que «el otro» país será seguidor, nunca conseguirán un equilibrio estable en el sentido de Stackelberg. Entrarán en una guerra de precios hasta que uno de ellos se rinda al liderazgo del otro (7). Para los países, la conducta estratégica generalizada no conduce al mejor resultado posible.

Otra cuestión es que si ninguno decide actuar como líder, nos encontraríamos de nuevo en el dilema del prisionero, donde nadie tiene incentivos a reducir las emisiones.

Finalmente, hay que tener en cuenta en todos los procesos descritos la existencia de costes de transacción. El que las empresas o los países tengan que someterse a disciplinas en las cuales no tengan experiencia (por ejemplo, la Bolsa del mercado de emisiones) implica un proceso de aprendizaje muy costoso que puede verse agravado con el surgimiento de nueva normativa. Esto modifica la matriz de pagos a lo largo del tiempo y, en este caso, puede presentar mejores resultados esperar y aprender de los errores de los primeros en ajustarse a los límites de emisión. Sin embargo, liderar el camino hacia un futuro bajo en emisiones emitirá una clara señal de preocupación por la equidad intra e intergeneracional que motivará un cambio hacia la aceptación del establecimiento de medidas que limiten las emisiones en los demás países, incluidos los países en desarrollo.

En esta línea de pensamiento, la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático asume que la transferencia de tecnología entre países es un elemen-

to clave para lograr frenar el cambio climático. Los próximos 7-18 de diciembre de 2009 se celebrará en Copenhague una nueva cumbre de Naciones Unidas sobre Cambio Climático en la que se negociará un nuevo protocolo que sustituya al de Kioto (el cual expira en 2012) y que suponga un definitivo compromiso para evitar el cambio climático (8). La propia Convención Marco sobre Cambio Climático afirma que será necesaria una innovación tecnológica, así como una rápida y extendida transferencia y aplicación de tecnologías, y en particular de los conocimientos técnicos necesarios para la mitigación de las emisiones de gases de efecto invernadero. Destaca que esta tecnología deberá ser respetuosa con el medio ambiente y permitir un desarrollo sostenible.

Por su parte, la Unión Europea parece dispuesta a asumir su papel de líder en este cambio al anunciar que, independientemente del resultado de las negociaciones, se compromete a buscar una Europa altamente eficiente desde el punto de vista energético y con bajas emisiones, con la esperanza de que sea un escenario ganador al hacerla más competitiva. Además, el nuevo Gobierno estadounidense anuncia una apuesta fuerte por el uso de energías renovables y el mayor respeto hacia el medio ambiente, lo que contribuye a esperar una mejor predisposición a cumplir los acuerdos que se adopten en Copenhague. En definitiva, Copenhague supone un reto y una oportunidad para el medio ambiente.

IV. CONCLUSIONES

La mayoría de países, con la ratificación del Protocolo de Kioto, muestran su conformidad con la idea de que hay que elevar los es-

fuerzos por combatir el cambio climático. Sin embargo, el Protocolo de Kioto adolece de graves fallos que impiden su aplicación con éxito. La falta de instrumentos efectivos para su cumplimiento conduce a que, tal y como está redactado, los países, tanto firmantes como no firmantes, se encuentren, en terminología de teoría de juegos, ante un dilema del prisionero cuya solución es la no cooperación; es decir, el no cumplimiento. Aun sabiendo que las ganancias de todos serán mayores si todos cumplen el Protocolo, existen incentivos a no cumplirlo.

Se sabe que en un juego repetido con pocos jugadores que interaccionan durante un largo periodo de tiempo en condiciones estables (de costes y demanda, entre otras variables) predomina la cooperación y la reducción de emisiones. Sin embargo, en muchos casos, la conducta de la cooperación es escasa o nula. Sólo si se observa un cambio significativo en el entorno puede incentivarles a modificar la estrategia e iniciar la cooperación y la reducción de emisiones. En nuestro caso, no comienza de forma clara:

— porque los países involucrados son muchos y muy heterogéneos;

— por las particularidades de la contaminación, que dota de una dimensión «global» al problema y crea dificultades específicas que no existen para problemas más locales;

— por las condiciones del entorno (costes, demanda y normativa) que están en un continuo proceso de cambio (9).

Desde esta perspectiva hemos intentado analizar cuáles serían las condiciones que han de darse para que esta situación se modi-

fique y el Protocolo sea efectivamente ratificado y cumplido.

En primer lugar, debemos tener en cuenta que estamos ante un problema de dimensión supranacional y que, dado el principio de soberanía nacional, las leyes internacionales (o acuerdos vinculantes) son el instrumento fundamental de cooperación. Sin embargo, en el tema medioambiental no hay ningún organismo supranacional que vigile y/o facilite el cumplimiento por parte de los países firmantes. Sólo en el caso de la Unión Europea hay cierta vigilancia, a través del establecimiento de multas si no se alcanzan los objetivos de reducción en la contaminación previstos, y se impulsa su cumplimiento generando el Comercio Europeo de Derechos de Emisión (ETS).

En segundo lugar, para que un tratado de este tipo tenga éxito en el cumplimiento por parte de los países participantes debe ser individualmente racional —es decir, ninguna parte del tratado debe ganar retirándose de él o incumpléndolo— y colectivamente racional, es decir, las partes no pueden ganar colectivamente modificándolo. Además, el tratado debe ser percibido como legítimo y justo.

Por tanto, la cuestión es ser capaces de diseñar un tratado que haga que los países, para maximizar beneficios, se adhieran a sus reglas sin otra posibilidad (10). Pero el Protocolo de Kioto no es un tratado de pleno alcance, ya que no tiene una participación completa de países y está falto tanto de mecanismos concretos de cumplimiento como de incentivos para dicho cumplimiento.

La solución a estas dificultades pasa, desde nuestro punto de vista, por superar los problemas plan-

teados por los mecanismos previstos hasta la fecha (fundamentalmente, la imposición de multas o el comercio de derechos de emisión), pues tal como se han desarrollado se han mostrado ineficaces para superar el dilema del prisionero. Es necesario aplicar otro tipo de incentivos. Creemos que estos incentivos deben ser fundamentalmente tecnológicos; la inversión en I+D+i ha de ser uno de los pilares de las acciones en la lucha contra el cambio climático, y debe existir un cierto número de países que tomen la iniciativa y asuman los costes iniciales de esa innovación para que el resto, animados por los beneficios de los primeros, también adopten dichos cambios, en este caso, a un coste mucho menor. Nos encontraríamos en este caso ante un modelo de Stackelberg líder-seguidor.

En este caso, los países líderes, concienciados de la necesidad de luchar contra el cambio climático y conscientes de que con el modelo actual la estrategia de los países es «no cooperar», toman la iniciativa en esta lucha. Por ello, invierten para conseguir mejoras tecnológicas y productivas que asumimos, por un lado, sean más respetuosas con el medioambiente y, por otro, consigan mejores rendimientos productivos, lo que repercutirá en mayores niveles de PIB y PIB per cápita, esto es, contribuirá a largo plazo a potenciar el crecimiento económico. El resto de países, los que no están dispuestos a realizar el desembolso inicial —bien porque no creen en la necesidad de luchar contra el cambio climático o bien porque, por su menor nivel de desarrollo económico, no están capacitados para realizar dichas innovaciones—, terminarán usando los productos y las tecnologías de los más avanzados por un único motivo fundamental: es más eficien-

te económica y energéticamente. Aunque no tengan en cuenta los beneficios medioambientales, la cuestión es que, si cambian la tecnología, estaremos consiguiendo también esa protección y lucha contra el cambio climático buscada inicialmente. Será un efecto añadido, pero, al fin y al cabo, será el objetivo buscado.

Por tanto, desde nuestro punto de vista, lo más probable es que la situación final sea un cambio en la matriz de pagos, en los beneficios de la reducción de las emisiones, generado por la conjunción de todas y cada una de las razones aquí descritas. Una mayor contaminación general, que se conjugará con el desarrollo de tecnologías limpias y el desarrollo de medidas económicas más eficientes y eficaces que las puestas en funcionamiento hasta el momento.

NOTAS

(1) En este apartado se sigue el planteamiento expuesto en RIERA *et al.* (2005: 225-249).

(2) Si bien es cierto que hay organismos que supervisan la consecución de los objetivos establecidos en el acuerdo, no tienen poder para penalizar su incumplimiento. Al menos en el ámbito medioambiental, y mientras todas las economías más influyentes no hayan firmado los acuerdos, es difícil que se introduzcan medidas penalizadoras. Es posible que en otros ámbitos sí podamos encontrar casos de penalizaciones. Por ejemplo, en el ámbito de acuerdos comerciales y económicos, como la UE, donde la adopción del euro como moneda nacional sólo puede lograrse si el país integrante de la UE cumple una serie de requisitos. Podríamos encontrar más casos en el ámbito de acuerdos de comercio internacional (como la OMC) o de seguridad nacional (como la OTAN).

(3) Los datos parecen ratificar este avance. La Administración Nacional Oceánica y Atmosférica de los Estados Unidos (NOAA), organismo del Gobierno de EE.UU. dedicado, entre otras cuestiones, a la medición de dióxido de carbono (CO₂) en la atmósfera, ha confirmado que este gas se está acumulando mucho más rápido de lo esperado. Desde 1970 hasta 2000 la concentración de CO₂ en la atmósfera alcanzó 1,5 ppm por año, pero desde 2000 se incrementa cada año una media de 2,01 ppm, el doble que hace cincuenta años.

(4) De hecho, es una de las justificaciones con contenido económico, y no sólo ético y moral, que se esgrime como argumento del comportamiento reductor de emisiones por parte de muchos países, a pesar de encontrarse inicialmente ante un dilema del prisionero.

(5) Si bien es cierto que el modelo de Stackelberg fue concebido como modelo referido a cantidades (como el de Cournot), es posible encontrar que el propio autor habla simplemente de estrategias. Así, STACKELBERG (1961: 218) habla de que «Sólo cuando uno de los dos duopolistas trata de lograr su posición independiente y el otro su posición dependiente... entonces sus planes económicos se sincronizan... A este tipo de duopolio le hemos llamado duopolio asimétrico».

De forma similar, hemos encontrado literatura de autores que, revisando a STACKELBERG, tampoco se ciñen exclusivamente a liderazgo en cantidad (o en precios, como se ha puesto de manifiesto en otras versiones del modelo líder – seguidor). Por ejemplo, DOWRICK (1986: 260) establece que no es esperable una solución Cournot o Stackelberg si las empresas —en nuestro caso países— tienen historias, costes y desarrollos similares, caso que, si elegimos la UE y países menos desarrollados, no sería el nuestro.

(6) Aunque los juegos consecutivos también pueden representarse a través de una matriz de pagos, suele hacerse a través de un árbol, que refleja más claramente que uno de los jugadores actúa primero y el otro elige su estrategia sabiendo lo que elige el primero.

(7) STACKELBERG (1961: 221) ya habla de la posibilidad de que uno de los duopolistas realice una política de expulsión, intentando que el otro no cubra costes y tenga siempre pérdidas, con lo que se vería obligado a abandonar el mercado. Pero si el segundo también persigue el mismo intento, entonces, dice Stackelberg, tenemos la competencia ruinosa. Como la política de expulsión es muy costosa para el duopolista que la emplea, la victoria corresponde al que la pueda resistir durante más tiempo.

(8) Esta cumbre supone la continuación de los trabajos de Bali (Hoja de Ruta). Se espera que acudan 170 países y quizá sea el momento de dar el empuje definitivo para lograr que los países se impliquen verdaderamente

en esta lucha contra el cambio climático. En la Convención Marco de Cambio Climático, las partes del anexo II (países desarrollados) «tomarán las medidas necesarias para promover, facilitar y financiar, según proceda, la transferencia de tecnologías y conocimientos prácticos ambientalmente sanos, o el acceso a ellos, a otras partes, especialmente a las que son países en desarrollo, a fin de que puedan aplicar las disposiciones de la Convención.»

(9) Dichas dificultades se darían incluso en el caso de que todos los países partiesen de una situación idéntica y diesen la suficiente importancia al futuro.

(10) Otros tratados relativos al medio ambiente que sí han tenido éxito, como el de Montreal, establecieron mecanismos para obligar a los países a reducir las emisiones de CFC (cloro-fluoro-carbonados), como por ejemplo limitación del comercio entre países firmantes y no firmantes, ayudas a países para introducir tecnologías limpias de dichos elementos contaminantes, etcétera.

BIBLIOGRAFÍA

- BARRET, S. (2003), *Environment and Statecraft: The Strategy of Environmental Treaty-making*, Oxford University Press.
- BUÑUEL GONZÁLEZ, M. (1999), «El uso de instrumentos económicos en la política del medio ambiente», *Colección Estudios*, número 75, Consejo Económico y Social (CES).
- CARRARO, C. (1998), «Beyond Kyoto. A game-theoretic perspective», *OECD Workshop on Climate Change and Economic Modeling, Background Analysis for the Kyoto Protocol*, París.
- COMISIÓN EUROPEA (2008), *La lucha contra el cambio climático. La UE lidera el camino*, Bruselas, Comunidades Europeas.
- DASGUPTA, P. (2008), *Discounting Climate Change*, University of Cambridge.
- DOWRICK, S. (1986), «Von Stackelberg and Cournot duopoly: choosing roles», *Rand Journal of Economics*, vol. 17, nº 2: 251-260.
- FONDO MONETARIO INTERNACIONAL (2008), «Climate change and the global economy», *Perspectivas de la Economía Mundial*, FMI.

HOPE, C. (2006), «The marginal impact of CO₂ from PAGE 2002: An integrated assessment model incorporating the IPCC's five reasons for concern», *Integrated Assessment Journal*, vol. 6 nº 1: 19-56.

JIMÉNEZ HERRERO, L. M. (2001), *Desarrollo sostenible y economía ecológica. Integración medio ambiente – desarrollo y economía – ecología*, 2ª reimpresión, Editorial Síntesis, Madrid.

LÁZARO TOUZA, L. E. (2007), *Cambio climático: ¿Nos enfrentamos a un puñado de alarmistas o es el momento de actuar?*, Real Instituto Elcano.

MARTÍNEZ ALIER, J., ROCA JUSMET, J. (2000), *Economía ecológica y política ambiental*, Ed. Programa de la Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y Fondo de Cultura Económica, México, primera edición.

MENDELSON, R.; MORRISON, W.; SCHLESINGER, M., y ANDRONOVA, N. (2000), «Country-specific market impacts of climate change», *Climate Change*, vol. 45, junio: 553-569.

NORDHAUS, W. (2008), *A Question of Balance: Weighing the Options on Global Warming Policies*. Yale University Press, New Haven & Londres.

OHL, C. (2001), «Risk aversión a necessary condition for limiting global environmental risks?», *Fifth International Conference of the International Society for Ecological Economics*, Moscú.

RIERA, P.; GARCÍA, D.; KRISTRÖM, B., y BRÄNNLUND, R. (2005), *Manual de economía ambiental y de los recursos naturales*, Thomson Paraninfo, Madrid.

STACKELBERG, H. VON (1961), *Principios de Teoría Económica*, Instituto de Estudios Políticos, Madrid, 4ª edición española.

TAMIRISA, N. (2008), «Cambio climático y economía», *Finanzas y Desarrollo*, marzo.

TOL, R. (2005), «The marginal damage cost of carbon dioxide emissions: An assessment of the uncertainties», *Energy Policy*, volumen 33, noviembre: 2064-2074.

www.ipcc.ch [consultada el 23/04/08].

www.noaa.gov [consultada el 13/05/08].