



---

**Universidad de Valladolid**

**Facultad de Ciencias Económicas y  
Empresariales**

**Trabajo de Fin de Grado**

**Grado en ECONOMIA**

**WILLIAM NORDHAUS:  
Crecimiento económico y  
medioambiente.**

Presentado por:

***Sara Jiménez Rodríguez***

*Valladolid, 23 de septiembre de 2020*

## RESUMEN

La naturaleza aporta recursos naturales, que se clasifican en renovables y no renovables, de los que obtenemos energía y productos derivados para el consumo. Los recursos naturales son de uso común, que se caracterizan porque su uso individual no es óptimo a nivel social. El uso de dichos recursos genera emisiones contaminantes y, por lo tanto, cambio climático, siendo este una externalidad negativa derivada del consumo y la producción. No existe un mercado que regule estos bienes ambientales, por lo que los costes medioambientales no son tenidos en cuenta, por lo tanto, no se maximiza el bienestar social.

William Nordhaus explica cómo el cambio climático se genera como consecuencia del crecimiento económico. Nordhaus realiza un estudio en el marco de la teoría del crecimiento económico, de corte neoclásico. Incluye aspectos económicos, políticos y ambientales en su modelo DICE, basado en maximizar una función de bienestar social sujeta a una restricción, la producción de una economía depende de la magnitud que alcance el problema medioambiental del cambio climático, así como el esfuerzo que se realice en su mitigación. Con este estudio puede simular la trayectoria del calentamiento global dependiendo de las políticas que se llevan a cabo.

## ABSTRACT

Nature provides natural resources, which are classified as renewable and non-renewable, from which we obtain energy and derived products for consumption. Natural resources are in common use, which are characterized because their individual use is not optimal at the social level. The use of these resources generates contaminant emissions and as a result, climate change, being a negative externality derived from consumption and production. There is no market that regulates these environmental assets, so environmental costs are not taken into account, therefore, social welfare is not maximized.

William Nordhaus explains how climate change is generated as a consequence of economic growth. Nordhaus carries out a study in the context of the theory of economic growth, neoclassical in style. It includes economic, political and environmental aspects in his DICE model, based on maximizing a social welfare function subject to a restriction, the production of an economy depends on the magnitude of the environmental problem of climate change, as well as the effort made in its mitigation. With this study he can simulate the trajectory of global warming depending on the policies that are carried out.

## ÍNDICE

OBJETIVOS.....	5
1. RECURSOS NATURALES.....	6
1.1. <i>Los recursos renovables</i> .....	7
1.2. <i>Los recursos no renovables</i> .....	10
1.3. <i>Las energías renovables</i> .....	11
1.4. <i>Las energías no renovables</i> .....	12
2. RECURSOS DE USO COMÚN.....	14
2.1. <i>La tragedia de los comunes</i> .....	15
2.2. <i>El dilema del prisionero</i> .....	16
2.3. <i>La lógica de la acción colectiva</i> .....	18
2.3.1. William Nordhaus “Climate Clubes”. .....	19
3. EL MEDIOAMBIENTE Y LOS FALLOS DE MERCADO.....	20
3.1. <i>El deterioro ambiental como externalidad</i> .....	23
3.2. <i>El deterioro de la sociedad como externalidad</i> .....	24
4. WILLIAM NORDHAUS. APORTACIONES AL MEDIOAMBIENTE .....	25
4.1. <i>Biografía</i> .....	25
4.2. <i>Crecimiento económico y medioambiente</i> .....	27
4.3. <i>Modelo de evaluación del cambio climático (DICE)</i> .....	30
4.3.1. Análisis matemático del modelo DICE .....	32
CONCLUSIONES .....	39
BIBLIOGRAFÍA.....	41

## OBJETIVOS

En este trabajo se busca hacer una breve revisión de las principales aportaciones de W. Nordhaus y para ello, se plantean los siguientes objetivos:

- ➔ Explicar los tipos de recursos y energías, para poder comprender el origen del calentamiento global.
- ➔ Analizar el comportamiento de los individuos y las consecuencias que este comportamiento supone para el medioambiente.
- ➔ Analizar, desde un punto de vista económico, la repercusión del cambio climático y en qué sectores afecta este calentamiento global.
- ➔ Concienciar a la sociedad en general, de que muchos de nuestros actos diarios promueven el calentamiento global, y de esta forma mantener a los ciudadanos más informados al respecto de este tema, para que sus conductas cambien y entre todos ayudar a frenar el calentamiento global.
- ➔ Analizar las aportaciones realizadas por William Nordhaus sobre el cambio climático y explicar el modelo DICE en el que se basa, el cual combina política y economía con calentamiento global.

Para llegar a una definición clara y completa de lo que entendemos por cambio climático tenemos que realizar un largo recorrido, para sentar unas bases conceptuales y saber de dónde proviene dicho problema. El problema del cambio climático se está ganando cada vez más eco en nuestra sociedad, en los ámbitos de la economía y la política, lo que nos indica, bien que el problema es más acuciante, o bien que cada vez hay más conciencia ambiental. No obstante, es urgente poner medidas ante esta situación, pues la evolución del cambio climático se vuelve irreversible cuanto más avanza.

## 1. RECURSOS NATURALES

Como punto de partida, es imprescindible aclarar qué significa recurso. Entendemos como recurso un elemento que podemos utilizar para producir otros bienes y de esta manera generar valor. Dado que con dicho recurso se pueden generar diferentes bienes o servicios, el recurso tiene un valor económico potencial.

Los recursos naturales, son todas aquellas materias primas que nos proporciona la naturaleza. Se caracterizan porque se generan o generaron sin necesidad de la intervención del hombre.

Son recursos de los que dispone el ser humano y que sirven de ayuda para satisfacer las necesidades de los individuos. Muchos de los recursos naturales, como tal, no satisfacen una necesidad, por lo que tienen que ser elaborados y de ellos extraer otros recursos útiles. Así los recursos naturales se pueden utilizar en su estado natural, o transformándolos a través de la intervención del ser humano, para generar otros tipos de recursos o energías.

Cabe destacar la importancia de estos recursos, pues son la base de todo lo que a día de hoy tenemos y que hay que conservar.

Pero también es importante tener en cuenta las nuevas tecnologías, que han influido en el proceso social y económico, haciendo que se produzcan mejoras y cambios en dichos recursos para satisfacer las necesidades de la humanidad. Estas necesidades no son estáticas, sino que han venido evolucionando y cambiando a lo largo de los años.

Los recursos naturales se dividen en dos grupos diferentes, renovables y no renovables:

### 1.1. Los recursos renovables

Los llamados recursos renovables, son aquellos que nos proporciona la tierra y cuyo stock se regenera con el paso del tiempo. Podríamos decir que la tierra es una fuente inagotable de estos recursos. Cabe destacar que para que el stock de recurso se incremente, su uso debe ser inferior a su tasa de regeneración. Los procesos de generación de recursos renovables pueden llevarse a cabo en la misma naturaleza de forma autónoma. No obstante, en algunos casos el hombre es capaz de ayudar a renovar estos recursos, (agricultura, reforestación, etc.). Algunos ejemplos son: el sol, el viento, las mareas, los bosques, el agua o las biomasas entre otros.

Para transformar recursos en energía renovable, es habitual que se requiera de una gran inversión. Además, recursos naturales como el sol, las mareas o el viento son habitualmente impredecibles.

En este punto, cabe destacar la importancia de la calidad ambiental y referirnos a ella como un recurso natural. *“La calidad ambiental es un conjunto de propiedades y características del ambiente, generalizadas o locales, que inciden en los seres humanos y otros organismos. Es una medida de la condición de un medio ambiente en relación con los requisitos de una o más especies, cualquier necesidad o propósito humano”*. (Johnson, et al, 1997, pp. 581–89).

Un entorno óptimo es aquel que se basa en la gestión sostenible y eficiente de los recursos naturales, y mantiene el sistema alejado de los factores que inciden sobre la calidad ambiental de forma negativa.

Entre los factores que más inciden empeorando la calidad ambiental, destacamos la emisión de gases contaminantes, sobre todo dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Estos gases son acumulados en la atmósfera, la cual retiene el calor, produciendo lo que conocemos como el efecto invernadero. El efecto invernadero es un fenómeno atmosférico natural que permite mantener la temperatura del planeta, al retener parte de la energía proveniente del sol. El aumento de la concentración de CO<sub>2</sub>, proveniente del uso de combustibles fósiles, entre otros gases, ha provocado la intensificación de este fenómeno. El efecto invernadero tiene como consecuencia el aumento de la temperatura global, el derretimiento de los cascos polares y el aumento del nivel de los océanos, ya que el calentamiento mayor se da en las latitudes altas. La revolución industrial con la invención de la máquina de vapor dio mucha importancia a la extracción y uso del carbón. Así mismo, la incorporación del motor de combustión interna, la industrialización y mecanización de la economía, con la quema de los combustibles, hizo que la atmósfera comenzase a soportar un volumen mayor de gases de efecto invernadero (GEI) nunca antes visto. De hecho, las emisiones de gases de efecto invernadero ya se han reflejado en un aumento de la temperatura de la tierra.

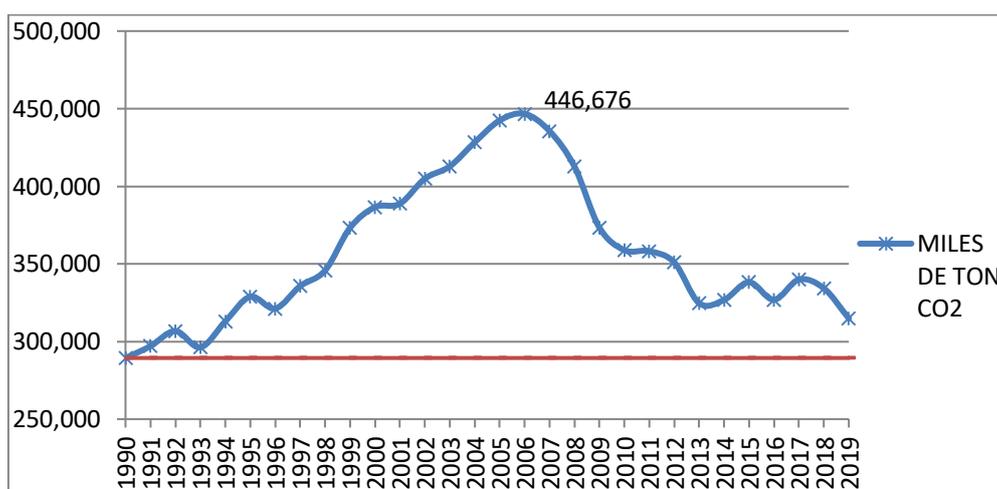
La siguiente gráfica, extraída del Observatorio de la Sostenibilidad en España (OSE), muestra la evolución de las emisiones de gases de efecto invernadero en España, tomando como base el año 1990 hasta el 2019.

Se puede observar un incremento constante desde 1990 hasta el año 1997, en el que se supera el 15% con respecto al año base debido a las actividades humanas, siendo los sectores más destacados el del transporte y los sectores de la energía. Es a partir de 1997 cuando el aumento de emisiones crece de forma más espectacular alcanzando, en 2007, el máximo visto hasta ese momento, el aumento es de prácticamente el 54% respecto del año base (1990). Esto se produce aun habiendo España asumido la obligación de que las emisiones de GEI no superasen el 15% de las emisiones con respecto al año base (1990).

A partir de 2008 se refleja una tendencia de reducción de las emisiones, que viene marcada por el primer periodo de compromiso del Protocolo de Kioto (2008-2012), el cual entró en vigor en 2005. Para el periodo 2013-2020, la Unión Europea marca como objetivo disminuir las emisiones en un 20% respecto del año base.

Coincidiendo esta última etapa con el inicio de la crisis económica, la cual hizo que disminuyera el consumo energético, al disminuir la actividad económica. Además, cabe destacar que otra causa de esta significativa caída se debe a que en el periodo 2008 - 2012 se gastaron cerca de 800 millones de euros en la compra de derechos de emisión.

### EVOLUCION DE EMISIONES DE GEI EN ESPAÑA



Elaboración Propia

Fuente: Gobierno de España

Cabe destacar que la mayor parte de los gases de efecto invernadero también son sustancias agotadoras de la capa de ozono, provocando la apertura de esta capa terrestre, la cual nos protege de la dañina radiación ultravioleta del sol.

Otros factores que determinan la calidad medioambiental son:

- La calidad del aire: La transformación del medio industrial genera emisiones atmosféricas de determinados contaminantes, que hacen necesario su control, para regular el impacto negativo sobre el medio ambiente, la salud y bienestar de las personas.
- La contaminación de los suelos: la presencia de sustancias químicas perjudiciales puede provocar serios problemas de salubridad, que afecten en gran medida a la flora, fauna o a la salud humana.
- Las aguas subterráneas: son consideradas como fuente principal para suministro doméstico y usos agrícolas. Sin embargo, en muchas ocasiones la explotación incorrecta de las aguas subterráneas conlleva problemas asociados tanto para las personas como para el medio natural.
- Los residuos: son una fuente importante de contaminación. El aumento de zonas residuales o vertederos pueden causar contaminación del suelo y de las aguas superficiales y subterráneas, si su gestión y depósito no es adecuado. Hay que hacer hincapié en la prevención o disminución de la generación de residuos, en el reciclaje y en la reutilización.
- Emisiones sonoras: lo que denominamos contaminación acústica, es la fuente de contaminación menos tenida en cuenta, pero que también altera la calidad ambiental y repercute en la calidad de vida de las personas.

### **1.2. Los recursos no renovables**

Los recursos no renovables, son aquéllos que encontramos en cantidades limitadas, o bien no se regeneran, o lo hacen en periodos de tiempo extraordinariamente extensos. En consecuencia, si se consumen de forma masiva terminarán desapareciendo.

La principal ventaja de los recursos no renovables es que nos proporcionan gran cantidad de energía a un coste relativamente bajo. Por el contrario, su gran inconveniente, es que tienen un efecto pernicioso para el medioambiente.

Además, a diferencia de muchos de los recursos renovables (como el sol, el agua o el aire), éstos no los podemos encontrar en cualquier parte de la geografía, sino que se encuentran bastante localizados.

Dentro de la categoría de recursos no renovables nos encontramos, por ejemplo: carbón, gas natural, minerales y metales opetróleo. Estos recursos nos pueden proporcionar energía. Así vamos a distinguir dos tipos de recursos energéticos, dependiendo de la fuente de origen de la que provengan:

- Recursos energéticos renovables → energías renovables.
- Recursos energéticos no renovables → energías no renovables.

### 1.3. Las energías renovables

Proceden de los recursos renovables, es decir, de la naturaleza y se caracterizan por que su uso perjudica en menor medida al medio ambiente. Podríamos hablar de energías limpias. Entre estas destacamos:

- ❖ **Energía solar:** la radiación procedente del sol, ya sea en forma de calor o en forma de luz, se transforma en energía térmica o energía eléctrica.
- ❖ **Energía eólica:** aprovecha el viento (la energía cinética de las masas de aire) para generar principalmente energía eléctrica.
- ❖ **Energía geotérmica:** consiste en generar energía aprovechando el calor interno de la tierra. Las diferentes temperaturas de la tierra permiten que el calor se utilice para generar energía eléctrica, térmica o para la obtención de aguas termales o climatización.
- ❖ **Energía hidráulica:** aprovecha la fuerza del agua y la presión (saltos de agua o corrientes), para generar electricidad.
- ❖ **Biocombustibles:** son combustibles producidos a partir de recursos agrícolas como trigo, maíz o grasas animales. Son un buen sustitutivo de los combustibles fósiles, pues, aunque al ser quemados, si emiten CO<sub>2</sub>, éstas no son emisiones netas de carbono.

Por lo general, todos estos recursos energéticos tienen una clara ventaja, y es que son favorables al medio ambiente, contaminan o dañan a la atmósfera en menor medida que los combustibles fósiles. Además, son fuentes inagotables. Otra ventaja importante, es que se puede obtener el recurso energético en el mismo lugar donde se encuentran los recursos disponibles, lo que abarata los costes operativos.

La utilización de este tipo de energías, a largo plazo reducirá la contaminación, y ayudará a la sostenibilidad del planeta. Sin embargo, no todo es positivo cuando hablamos de recursos renovables. El principal inconveniente es que no podemos asegurar la generación de las energías, dado que son recursos impredecibles. Además, el coste inicial de las instalaciones es elevado y, a corto plazo, el coste de producción es también alto debido a la inestabilidad de los recursos, y al poco desarrollo de las tecnologías.

#### 1.4. Las energías no renovables

Son aquellas que podemos obtener a partir de los recursos no renovables. En consecuencia, la energía que obtenemos se agota y no se vuelve a generar, debido a que los recursos son limitados y no se regeneran, al menos a corto plazo. Las energías no renovables se caracterizan por ser perjudiciales para el medioambiente, ya que emiten sustancias que dañan la atmósfera y la biosfera. Entre esas energías nos encontramos:

- ❖ **Petróleo:** se forma a través de la descomposición de materia orgánica, y su generación conlleva un millón de años, por lo cual, es considerado un recurso natural no renovable. Está formado por hidrocarburos, azufre y oxígeno entre otros. Una vez procesado se obtienen derivados como la gasolina o gasoil, que sirven como combustible bien para producir movimiento o para aportar energía térmica. El principal inconveniente del petróleo es la emisión de gases en los procesos de combustión. Los vertidos tienen un impacto ambiental grandísimo, dañan las aguas y el ecosistema.

- ❖ **Carbón:** es un combustible fósil que se forma por la acumulación de restos vegetales, se extrae con el objetivo de generar energía térmica y electricidad. Es el recurso natural más perjudicial para el medio ambiente, dado que sus emisiones de CO<sub>2</sub> son muy elevadas.
- ❖ **Metano:** es el componente mayoritario del gas natural. Se produce a través de la descomposición de materia orgánica, como alimentos. Se extrae de bolsas de aire del interior de la tierra, y se utiliza como combustible, para generar calor. Es menos desfavorable para el medio ambiente que el petróleo o el carbón, aunque también se considera un gas de efecto invernadero.
- ❖ **Energía nuclear:** es la energía que se concentra en el núcleo de un átomo, los cuales liberan energía que es transformada en electricidad principalmente.

En general, la energía que nos aportan estos recursos no renovables se produce de forma más económica que la energía que podemos obtener de los recursos renovables. Esto se debe a que la tecnología que se requiere está mucho más desarrollada, gracias a que lleva usándose desde hace siglos, lo que hace que su generación sea más eficiente.

La extracción de este tipo de recursos tiene un gran impacto medioambiental, en cuanto a flora y fauna, en los distintos puntos de extracción. No obstante, es la combustión de estos recursos, como fuentes de energía, la que genera las emisiones de gases de efecto invernadero, y acelera el calentamiento global. Aquí es donde surge el conflicto entre los intereses de cada uno, en contraposición de los intereses generales, que beneficiarían a todos.

El problema del calentamiento global afecta a todas las personas que habitamos el planeta, independientemente de nuestra mayor o menor colaboración con el problema medioambiental común. Las consecuencias las sufrimos todos, porque la atmósfera es un recurso común.

En el estudio de Meira (2009), basado en una encuesta en las distintas comunidades de España, se concluye que 9 de cada 10 personas tienen conciencia respecto al problema del cambio climático. No obstante, consideran que están poco o nada informados en dicha materia. Esta falta de información hace que los intereses individuales primen sobre los comunes.

Es un reto formidable el conseguir que la atmósfera sea considerada un recurso de todos, en cuyo mantenimiento, todos tengamos que colaborar.

## 2. RECURSOS DE USO COMÚN

En primer lugar, nos centramos en aquellos recursos que nos proporciona la naturaleza y que, tras su utilización en el proceso productivo, no se pueden regenerar, es decir los recursos no renovables. Es precisamente la combustión de estos recursos la principal fuente de emisión de gases de efecto invernadero.

Cuando hablamos de recursos de uso común dentro del problema del calentamiento global, podemos distinguir dos recursos: el stock de combustibles fósiles y la calidad de la atmósfera.

El objetivo es optimizar el uso de estos recursos para poder asegurar, en periodos futuros, tanto la disponibilidad de los mismos, como el control de la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera.

Administrar estos recursos naturales utilizados por mucha gente, es una tarea complicada. Existen varias propuestas para la adecuada gestión de estos recursos que denominamos de uso común:

- Privatizar los recursos naturales. Se propone definir derechos de propiedad privada sobre dichos recursos. Establecer derechos de propiedad sobre los recursos, es una forma de evitar la sobreexplotación de los mismos, permitiendo una gestión eficiente de dichos recursos.

Establecer derechos de propiedad elimina o reduce el carácter rival del recurso, dado que otros usuarios no pueden extraer el mismo. Esto permite que el poseedor de los derechos de propiedad lo conserve para su uso futuro.

Esta medida puede generar tensiones en la sociedad si se dota de privilegios a aquellos que tengan posibilidad para apoderarse de los recursos, y no se asegura el uso racional de los mismos. Esta propuesta es complicada de llevar a cabo, ya que la definición de los criterios de otorgación de la propiedad de los recursos es muy subjetiva.

- Que el estado se encargue de controlar el uso de los recursos, para asegurar su existencia a largo plazo.

Cabe destacar, según Elinor Ostrom, en su libro *“El gobierno de los comunes”*, que a lo largo de la historia ninguna de las dos alternativas para el “cuidado” de los recursos naturales, han resultado ser exitosas. Debido a que el estado no ha sido capaz ni de controlar la actuación de los individuos, ni de mantener en equilibrio el uso de los recursos. Esto ocurre debido a que los individuos somos seres racionales. Desde la premisa de un comportamiento racional, predomina el interés propio y esto lleva a una sobreexplotación del recurso común, como puede ser en este caso: la atmósfera. Es decir, en el caso de los bienes comunes, en general, la racionalidad individual, no implica racionalidad colectiva.

Además, Ostrom expone tres conceptos fundamentales que ayudan a explicar la problemática del uso de los recursos naturales, en tanto que bienes comunes:

### **2.1. La tragedia de los comunes**

Hace referencia a la degradación ambiental que surge por la posibilidad de acceso masivo y sin trabas a un recurso escaso. Cada individuo persigue su propio interés y utiliza el recurso siempre y cuando le reporte beneficio. Este comportamiento se extrapola a todos los individuos que hacen uso de dicho bien escaso, que está al alcance de todos. Cada uno de los usuarios ignora el perjuicio que puede acarrear el uso individual al resto de la sociedad.

Si tomamos como ejemplo de recurso escaso la calidad de la atmósfera, cuantos más gases de efecto invernadero se emiten a la atmósfera, para el beneficio de quienes lo emiten, más se perjudica al medio ambiente.

El concepto de tragedia de los comunes ya era conocido por Aristóteles, en su obra: *Política* (Libro II, cap. 3) ya mencionaba que: “lo que es común para la mayoría es de hecho objeto del menor cuidado. Todo el mundo piensa principalmente en sí mismo, raras veces en el interés común”.

Cabe destacar, en este caso, que la suma de las cantidades individuales que se emiten a la atmósfera, supera lo que se considera óptimo desde el punto de vista social y, de hecho, es excesivo para garantizar la sostenibilidad. Es decir, la atmósfera recibe más emisiones de las que puede soportar, de ahí el problema del cambio climático, del que hablaremos más adelante.

## 2.2. El dilema del prisionero

El principal paradigma empleado en teoría de juegos para explicar la problemática de los recursos de uso común, es el denominado dilema del prisionero.

El juego se enuncia de la siguiente manera: las autoridades tienen que investigar un caso en el que hay dos personas implicadas. Dichas personas son llevadas a comisaría y serán interrogadas por separado. Cada preso tiene dos opciones: confesar, o no confesar. Si ninguno de los dos confiesa, la pena será leve, si ambos confiesan, serán encarcelados por cometer una pena grave; pero si uno confiesa y el otro no, entonces el confeso recibirá un tratamiento indulgente por ofrecer evidencia, mientras que el último será tratado con todo el rigor de la ley.

Lo podemos ver en términos de años de prisión en la siguiente tabla, para ver qué ocurriría en cada escenario y entender los comportamientos de los individuos.

		PRISIONERO 2	
		NO CONFIESA	CONFIESA
PRISIONERO 1	NO CONFIESA	1,1	10, 0,25
	CONFIESA	0,25, 10	8,8

Si ninguno de los dos prisioneros confiesa tendrán que asumir 1 año de cárcel cada uno. Por el contrario, si el prisionero 1 ( $p_1$  en adelante) confiesa y el otro no, el que confiesa solo tendrá que asumir 3 meses de cárcel mientras el prisionero 2 estará 10 años en prisión, y al contrario, si el prisionero 2 ( $p_2$  en adelante) confiesa, será este el que solo esté 3 meses en prisión mientras que el prisionero 1, tendrá que asumir 10 años de cárcel. Finalmente, si ambos confiesan estarán 8 años detenidos.

Los jugadores tienen la información completa en cuanto al funcionamiento de este juego, pero no hay comunicación entre ellos. Está prohibida, por lo que no pueden llegar a un acuerdo entre ellos.

Los prisioneros son personas racionales, usarán la lógica para tomar su decisión. El  $p_1$  tiene que decidir entre confesar o no confesar, sin conocer lo que ha hecho el  $p_2$ . Si el  $p_2$  hubiera confesado, el  $p_1$  tiene incentivo en confesar también, ahorrándose 2 años de prisión, (de 10 a 8). Si el  $p_2$  no hubiera confesado, el  $p_1$  aun así tendría incentivo a confesar, cumpliendo 3 meses en lugar de un año de prisión. El dilema del  $p_2$  es idéntico. La decisión que tomarán será la de confesar, dado que así se minimiza su pena, sea cual sea la decisión del otro prisionero. El otro prisionero razonará igual, por lo tanto, llegamos a la situación más desfavorable en conjunto para los dos, ambos confiesan y pasan 8 años reclusos.

Cada prisionero ha elegido su mejor estrategia individual, pero esta no es un óptimo de Pareto, puesto que existe otra estrategia que mejora las condiciones de al menos uno de ellos. De hecho, si ninguno confiesa, mejoran los dos, cumpliendo únicamente un año de condena.

Por lo tanto, la conclusión de este juego es que cada persona individualmente toma la decisión que es mejor para sí mismo, en lugar de cooperar y tomar la decisión que es mejor para ambos, un beneficio común. Las personas aun siendo racionales toman decisiones individuales que conducen a resultados comunes irracionales.

Y esto, aplicado a la calidad de la atmósfera se plasma de la misma forma, cada persona individualmente consume y hace uso de los recursos mirando por su propio interés, dando lugar a una degradación en la calidad de la atmósfera y por tanto del medioambiente, la cual es perjudicial para el conjunto de la sociedad. Si hubiese algún mecanismo que propiciase la cooperación, ambos podrían afrontar el coste de reducir el uso del recurso (limitar las emisiones contaminantes) a cambio de un mayor beneficio, en forma de una mejor calidad de la atmósfera (menor concentración de CO<sub>2</sub> y calentamiento global).

### **2.3. La lógica de la acción colectiva**

Fue Mancur Olson, un reconocido economista estadounidense, quien en 1965 en su obra "The Logic of Collective Action and the theory of groups" quiso hacer un estudio sobre el bienestar común y el bienestar individual.

Dentro de un grupo, si las personas que lo forman, tienen unos intereses comunes, parece lógico pensar que esas personas, como seres racionales, actuarían con objeto de favorecer esos intereses comunes. Sin embargo, las personas racionales pertenecientes a un grupo actuarán en función de sus propios intereses, y excepto en circunstancias excepcionales, en general, no actuarán por el interés del grupo al que pertenecen.

Olson apunta que esta situación se da cuando no se puede excluir a un individuo del beneficio colectivo, aun no habiendo actuado a favor de conseguirlo. Bajo estas circunstancias surge la figura del gorrón (free-rider) que no aporta nada para lograr el interés colectivo, dejando a los demás el esfuerzo para conseguirlo.

Esta idea la podemos aplicar a la calidad de la atmósfera. En este caso, el grupo sería toda la humanidad. Todos tenemos un interés común que es el de conservar la atmósfera, para lo cual se debería actuar reduciendo las emisiones de gases de efecto invernadero. Esto no sucede debido al incentivo que tiene cada individuo para actuar como un gorrón. Así, mucha gente se mantiene pasiva al respecto de los intereses comunes, esperando aprovecharse de quienes sí se preocupan por el interés común.

Si todos mantienen esta actitud de free-rider, no se conseguirá el beneficio común. La existencia de este tipo de personas, hace que esta actitud domine en el proceso de decisión de otras personas, haciendo que aumente el volumen de gorriones, por lo que el beneficio colectivo que se consigue es menor al óptimo.

### 2.3.1. William Nordhaus "Climate Clubes".

Nordhaus propone la creación de lo que él denomina "Climate Clubes", para abordar el problema del aprovechamiento gratuito (free-riding), que impide la provisión eficiente de bienes públicos globales. Estos clubes consisten en una agrupación de países, cuyo objetivo es terminar con la figura del free-rider y poner freno al cambio climático. Debe tener el suficiente peso como para imponer sanciones a aquellos países que no pertenezcan al club, y que se benefician de los esfuerzos que realizan los demás países para proteger el medioambiente. Esas sanciones consisten, en aranceles a los países no miembros sobre las exportaciones hacia la región del club. Mientras, los países miembros, pagarían su cuota de pertenencia al club en forma de reducciones de emisiones.

Estos clubes han de cumplir, al menos, 3 características: hacer referencia a un bien público, que en este caso es la calidad medioambiental, que puede ser utilizada por todos; ser un acuerdo beneficioso para todos; y además excluir a los no miembros, en este caso, mediante la imposición de tarifas.

### 3. EL MEDIOAMBIENTE Y LOS FALLOS DE MERCADO

En este punto nos vamos a centrar en los bienes ambientales y su interrelación con la economía.

El funcionamiento del libre mercado, por el cual los precios los fijan vendedores y compradores, mediante la ley de la oferta y la demanda, no considera un factor fundamental para este mercado: la interacción con el medioambiente.

No ha sido tomado en cuenta para las valoraciones económicas, tanto en las decisiones de producción como en las de consumo.

Al no existir un mercado explícito que regule estos bienes ambientales, los costes medioambientales no son tenidos en cuenta, por lo que la economía de libre mercado no está maximizando el bienestar social.

La actividad económica incide en el medioambiente, tanto de forma positiva como de forma negativa, lo que conocemos como externalidades o efectos externos. Una externalidad es el coste o beneficio que deriva del consumo, producción o inversiones que llevan a cabo los individuos, y cuyo valor no se refleja en el mercado. Es decir, el efecto positivo o negativo que pueda tener sobre terceros, y que no se tiene en cuenta a la hora de cuantificar económicamente esa actividad. La existencia de externalidades implica que la asignación de recursos productivos en una economía de mercado sea ineficiente, desde el punto de vista social.

El mercado no funcionará de forma eficiente si existen bienes que no se recogen en las transacciones entre oferentes y demandantes. El primer teorema fundamental de la teoría del bienestar social establece que el mercado, en ausencia de externalidades, es capaz de llegar al máximo bienestar de la sociedad.

El mercado es el organismo que se encarga de asignar los recursos económicos para el bien común. Es el lugar teórico en el cual, los productores u oferentes, intercambian bienes y servicios con los compradores o demandantes, a cambio de dinero. Para llegar al precio de mercado, tanto oferentes como demandantes han interactuado según, la capacidad productiva y tecnología utilizada por los productores; y los gustos y preferencias de los consumidores. En el equilibrio se produce una asignación eficiente de los recursos, por lo que es un óptimo de Pareto. Los individuos están satisfechos con la transacción y no es posible encontrar otra asignación que beneficie a un individuo sin perjudicar al resto.

En conclusión, el mercado es capaz de conseguir el óptimo social, es decir, maximizar el beneficio colectivo social. El problema surge cuando no se cumplen todos los supuestos de un equilibrio de mercado y este incumplimiento es lo que denominamos “fallo de mercado”.

Cuando se producen los fallos de mercado, éste no es capaz de asignar eficientemente los recursos. Existen varios escenarios posibles donde surgen estos fallos de mercado:

- Cuando la **información no es perfecta**, unos agentes disponen de más información que otros. Cuando la economía de mercado funciona eficientemente las empresas conocen todos los aspectos técnicos relacionados con su industria y también los precios y las cantidades de los factores de producción que intercambian; y los consumidores conocen la cantidad, calidad y precio de los productos que ofrece el mercado.

En cambio, si la información que ofrece el mercado es falsa, incompleta o asimétrica aparece la ineficiencia en el mercado.

- Cuando existe la posibilidad de que uno o un cártel de agentes fijen los precios y controlen la demanda. Es decir, la existencia de **monopolios u oligopolios**. Si no hay competencia perfecta los precios serán más altos, y los recursos no se asignarán de forma eficiente.
- Cuando los derechos de propiedad de algunos bienes o servicios no están bien definidos, y por tanto el **mercado es incompleto**. Los bienes ambientales en general son bienes públicos (sin rivalidad ni exclusión) y están asociados a externalidades, dado que el coste de su utilización no es tenido en cuenta por el mercado.

Los problemas medioambientales que se producen con las decisiones de producción o de consumo, no son conocidos por los individuos, por lo que la información en el mercado no es perfecta. Además, estos bienes ambientales, no tienen un propietario concreto, puesto que son comunes: el agua, el aire, el sol, o la atmósfera, están al alcance de todos los individuos.

En consecuencia, el mercado es incompleto. Habitualmente, no se han impuesto unas pautas para su uso, ni se ha restringido el uso a ciertos individuos, ni se han estipulado unos derechos de propiedad sobre ellos.

En general, es difícil definir los derechos de propiedad de los bienes ambientales, pero si es cierto que diseñar estos derechos facilitará la cuantificación de los costes y beneficios, así como la asignación de los recursos y el intercambio de estos bienes. Es complicado definir dichos derechos debido a que estos bienes se caracterizan por ser no rivales y no excluyentes. La no rivalidad implica que, el que un individuo haga uso de estos recursos, no disminuye la cantidad disponible a utilizar por otros individuos, pudiendo hacer incluso, un uso simultáneo. No excluyente, quiere decir que es muy complicado, prácticamente imposible, prohibir el uso de estos recursos a un individuo: no se puede privar a ninguna persona del uso de estos bienes comunes.

Los efectos negativos del calentamiento global ya empiezan a ser visibles en la actualidad, provocando cambios en todos los ámbitos. A continuación, se concretan algunos de estos efectos.

### **3.1. El deterioro ambiental como externalidad**

Según Farràs (2018), “los gases de efecto invernadero influyen directamente en el cambio climático y afectan al nivel del mar, las temperaturas globales y la salud de los ecosistemas terrestres y marinos, e influyen en las tormentas y aumentan las inundaciones, la sequía y la erosión”.

El calentamiento global, está trayendo consigo muchos efectos que ya se pueden apreciar. El aumento de la temperatura media durante los últimos años, afecta de forma directa a las especies de flora y fauna, a las que les resulta más complicado adaptarse a las nuevas condiciones climáticas. El mundo marino también se ve afectado, la consecuencia más directa, es el aumento de muertes entre las especies marinas, debido al aumento de las temperaturas de las aguas.

Los efectos en el paisaje, quizá son los que mejor podemos observar. Existen varias causas que inciden en la modificación del paisaje, una de ellas es la subida de las temperaturas, que provoca deshielo en las cadenas montañosas, siendo el grueso del problema de este deshielo, la pérdida de volumen del Ártico y el aumento del nivel de las aguas.

Otra de las causas que más incide en el paisaje son los incendios. En los últimos años, debido al aumento de la temperatura, ha aumentado el número de incendios, que cada vez sonde más intensidad, esto hace que la capacidad de recuperación de los bosques sea menor.

Otras de las consecuencias del calentamiento global son la desertización (proceso natural por el cual una zona pierde fertilidad convirtiéndose en un desierto) y la desertificación (proceso por el cual la tierra sufre degradación debido a la intervención del ser humano). Asimismo, también se observa una disminución de las reservas hidráulicas.

Una consecuencia significativa del cambio climático que se vienen observando en los últimos años es un incremento de fenómenos meteorológicos extremos. La Agencia Estatal de Meteorología pone de manifiesto la adversidad de estos fenómenos meteorológicos. Estima que los veranos se alargan aproximadamente 5 semanas más que en los años 70 y los inviernos son cada vez más cálidos. En las últimas décadas, los caudales de los ríos se han visto disminuidos, las olas de calor son cada vez más frecuentes, de mayor duración y de mayor intensidad, así como ocurre con las tormentas, las inundaciones y las sequías.

### **3.2. El deterioro de la sociedad como externalidad**

El cambio climático afecta también de forma directa a la sociedad, los efectos en el medioambiente repercuten en los individuos. Las actividades económicas se ven condicionadas por los efectos del calentamiento global, así como la agricultura, el turismo, e incluso la salud de las personas, debido a estas anomalías en las temperaturas.

La Organización Mundial de la Salud (OMS) considera que la contaminación provocada por la emisión de GEI, repercute de forma directa en los individuos, provocando muertes prematuras al respirar aire contaminado.

Además, los fenómenos meteorológicos antes citados, aceleran la aparición de enfermedades cardiovasculares y respiratorias, así como diferentes tipos de cáncer. Al mismo tiempo, la subida de las temperaturas hace que lleguen a nuestro territorio diferentes especies, como insectos, que traen consigo nuevas enfermedades contagiosas.

Por otro lado, el turismo supone una fuente de ingresos muy importante a nivel mundial. El calentamiento global puede tener efectos tanto positivos como negativos en este sector. Por un lado, el aumento de las temperaturas favorecerá el turismo de sol y playa, por otro lado, pone en peligro la supervivencia de las playas y zonas costeras debido al aumento del nivel del mar, al igual que el turismo invernal, que también se ve afectado por la falta cada vez mayor de nieve.

La agricultura es la actividad que más se ve afectada por el calentamiento global, cada vez se hace más complicado mantener ciertos cultivos, y por tanto disminuye la productividad. Los fenómenos meteorológicos extremos hacen que las tierras se vean dañadas y se produzcan pérdidas en el campo. La ganadería se ve afectada debido a la erosión y desertificación del suelo, pues los pastos son la fuente de alimentación de la ganadería extensiva. La pesca de agua salada, se ve afectada por el aumento de la temperatura de las aguas marinas, y la pesca de agua dulce, debido al descenso de los caudales. Los efectos en la alimentación están ligados a los efectos en la agricultura y ganadería. Si la productividad de las cosechas y de la ganadería extensiva disminuye, se produce una escasez de productos de primera necesidad.

#### **4. WILLIAM NORDHAUS. APORTACIONES AL MEDIOAMBIENTE**

##### **4.1. Biografía**

William Nordhaus es un economista reconocido con el premio Nobel junto a Paul Romer en 2018, debido a su investigación y aportaciones relativas al cambio climático.

Su trabajo se basa en analizar el crecimiento económico teniendo en cuenta la existencia de recursos escasos, así como el cambio climático que este crecimiento genera. Por otro lado, Paul Romer explica el crecimiento económico como algo endógeno del sistema económico, es decir, no fundamentado en supuestos como el crecimiento exógeno de la tecnología o la población.

William Nordhaus nació en Albuquerque (Nuevo México) el 31 de mayo de 1941, estudió en la universidad de Yale donde obtuvo la licenciatura y la maestría. En 1967 terminó el doctorado en el MIT (Massachusetts Institute of Technology) y comenzó su vida laboral como profesor de la universidad donde realizó sus estudios, en Yale. Donde además ha desempeñado varios cargos directivos, como prefecto, vicepresidente de Finanzas y Administración.

Es miembro de la Academia Nacional de Ciencias de Estados Unidos, de la que fue elegido presidente en 2013 y ha participado en las actividades económicas de la Institución Brookings desde 1972. Durante el gobierno de Jimmy Carter, entre 1977 y 1979, fue integrante del Consejo de Asesores Económicos. Desde 1999 es miembro de la Real Academia Sueca de Ciencias de Ingeniería.

W. Nordhaus es autor de varias obras relacionadas con el crecimiento económico: *Is Growth Obsolete?*, junto con James Tobin trata la idea de una economía sostenible y una medición del bienestar. También ha escrito libros relacionados con el ciclo económico y factores políticos como: *Alternative Approaches to the Political Business Cycle* (1989) o *The Political Business Cycle* (1975).

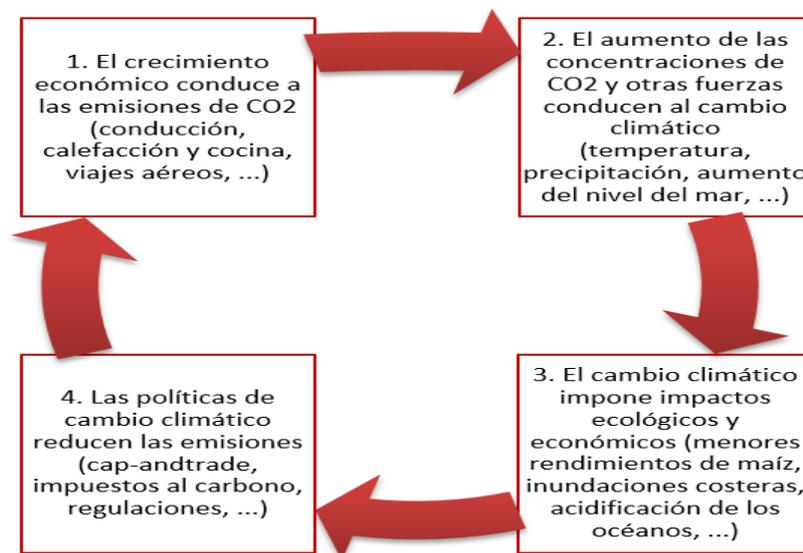
Cabe destacar la importancia de este economista, que ha dedicado su tiempo y esfuerzo a tratar de esclarecer la interrelación entre el medio ambiente y el crecimiento económico. Su principal tema de investigación es el calentamiento global y el cambio climático, que se plasman en varias obras, como: *Warming the World: Economic Models of Global Warming* (2000), junto a Joseph Boyer, en la que se presentan dos modelos de la economía y el cambio climático llamados “Modelo DICE y Modelo RICE”. *Managing the Global Commons: The Economics of Climate Change* (1994), en esta obra, a partir del modelo DICE y para distintos escenarios de incertidumbre, estudia cómo pueden llegar a equilibrarse las emisiones y los impactos que se derivan de las mismas. *A Question of Balance: Weighing the Option on Global Warming Policies* (2008) se centra en el estudio de las políticas sociales para reducir las emisiones y, por lo tanto, reducir los daños del calentamiento global.

## 4.2. Crecimiento económico y medioambiente

Como hemos mencionado anteriormente, el cambio climático es consecuencia de la existencia de fallos del mercado que aparecen por la existencia de los bienes ambientales. Estos fallos de mercado que promueven el cambio climático son las externalidades negativas del mercado. William Nordhaus, en el cuadro ilustrativo del “Flujo Circular del Calentamiento Global”, explica que el cambio climático deriva de un mal uso de los recursos naturales y una administración ineficiente de los mismos y todo ello por conseguir crecimiento económico. W. Nordhaus explica, de forma muy simple, cómo se genera el calentamiento global, y qué factores intervienen.

En su estudio sobre el crecimiento económico y el cambio climático como dos conceptos interrelacionados, pone énfasis en cómo afrontar el problema del cambio climático, pero también en cómo influyen la economía y la sociedad en el medioambiente.

### FLUJO CIRCULAR DEL CALENTAMIENTO GLOBAL



El crecimiento económico es el aumento de la renta, o de los bienes y servicios de un país producidos en un momento determinado de tiempo, que promueven la mejora de las condiciones de vida en términos de bienestar.

El indicador más utilizado para medir el crecimiento económico es la variación en el Producto Interior Bruto (PIB), que mide en términos monetarios el valor de todos los bienes y servicios producidos en un país en un momento determinado de tiempo. (Véase información más detallada en Mochon (2019)). Existe crecimiento económico cuando la tasa de variación del PIB es positiva, es decir:

$$\frac{PIB_t - PIB_{t-1}}{PIB_{t-1}} > 0$$

La economía y, en concreto, el crecimiento económico tiene un lazo de unión con el cambio climático. El objetivo de los países es conseguir crecimiento económico, como modo de garantizar prosperidad y mejora del nivel de vida del país, lo que supone el aumento de la producción de bienes y servicios. Esos bienes y servicios posteriormente se comercializan, por lo que el crecimiento económico promueve además el aumento del consumo. Todas las fases de este proceso de crecimiento tienen que ver con el medioambiente.

Tanto para producir como para consumir, es necesario recurrir a los recursos que la naturaleza nos proporciona, y dado que muchos de esos recursos son limitados, surge el problema de la escasez. Es ahí cuando la economía tiene que intervenir para administrar de forma eficiente dichos recursos, y cuando esto no sucede se generan los fallos de mercado, como hemos mencionado al principio de este punto. Por otro lado, el consumo también tiene un nexo de unión con el medioambiente, pues a la hora de consumir, se generan residuos, que son contaminantes.

Este crecimiento económico, que hace uso de los recursos naturales, provoca un aumento de las emisiones de CO<sub>2</sub> que van a parar a la atmósfera, generando el calentamiento global y por tanto el cambio climático. El cambio climático tiene efectos adversos tanto en la economía como en el medioambiente, como hemos visto anteriormente en el apartado 3. Llegados a esta situación de impacto ambiental debido al crecimiento económico, las autoridades se plantean políticas ambientales que reduzcan las emisiones.

William Nordhaus también destaca la importancia del cambio tecnológico en el cambio climático. Por un lado, la tecnología es un factor importante para el crecimiento económico. Este hecho lo podemos ver ya en el siglo XVIII con la revolución industrial, que hizo que los países sentaran unas bases bastante aceptables de nivel de vida, salud, educación, sanidad y alimentación entre otros. El enriquecimiento y crecimiento de las economías se produce gracias a la introducción de la máquina de vapor y del ferrocarril, es decir, cambio tecnológico. Todos los países que han experimentado crecimiento económico tienen su base en: los recursos naturales de los que dispone el país, los recursos humanos que administrarán la producción y por lo tanto la formación de capital, y la tecnología.

La aplicación de la tecnología puede ser un factor positivo o negativo para el medioambiente. Las tecnologías han ayudado a aumentar el consumo de los recursos, tanto renovables como no renovables, a veces por encima de su tasa de regeneración, lo que produce un efecto negativo para el medioambiente. La tecnología ha propiciado un mayor consumo, que implica una mayor producción de residuos por parte de los consumidores, la mayor parte de los cuales no son biodegradables, como el plástico, lo que acentúa la contaminación. La contaminación por plásticos también incide en el cambio climático, pues al ser materia que no se descompone, la radiación solar hace que el plástico libere gases de efecto invernadero, como el metano y el etileno.

La tecnología también puede ser un factor positivo. El cambio tecnológico puede ayudar a frenar las externalidades asociadas al crecimiento económico (emisiones de GEI), a través de la creación o mejora de los procesos productivos. Por ejemplo, la mejora tecnológica que se aplica en la agricultura y que permite una producción sostenible: utilización de nuevos productos que dañan menos los suelos y son menos contaminantes.

La política agraria común está haciendo hincapié en la reducción del cambio climático, a través de políticas que incentivan estos cambios tecnológicos.

Desde la Unión Europea se han fijado unos requisitos de Política Agraria Común, para la protección del medio ambiente y la preservación de los paisajes y la biodiversidad.

- Aplicar la rotación de cultivos como forma de oxigenar la tierra.
- Conservar los suelos ricos en carbono, proteger las turberas y humedales.
- Mejorar la calidad del agua y reducir los niveles de amoníaco y óxido nítrico.

El avance tecnológico también nos ha permitido tener mayor conocimiento sobre las causas del cambio climático, y nos ha servido para reconocer, con mayor precisión, los diferentes cambios ambientales que se han ido produciendo.

El desarrollo de nuevas formas energéticas, así como el desarrollo de combustibles más respetuosos con el medio ambiente, es otro claro ejemplo de que el cambio tecnológico puede ser un factor positivo para luchar contra el cambio climático.

#### **4.3. Modelo de evaluación del cambio climático (DICE)**

W. Nordhaus se basa en lo que se conoce como Modelos IAM (Modelo integrado de evaluación), que son modelos informáticos que representan aspectos socioeconómicos, junto con aspectos biológicos y físicos.

Este tipo de modelos son utilizados principalmente para estudiar la problemática del cambio climático. Son de utilidad para simular las distintas políticas y plantear decisiones con cierta firmeza, sabiendo con determinada probabilidad, lo que puede ocurrir en el largo plazo, puesto que se pueden observar los posibles efectos. Simulan las causas, las trayectorias y las consecuencias del cambio climático.

Para realizar este tipo de simulaciones, entran en juego tanto la política como la economía, así como variables demográficas. Se estudian diferentes hipótesis para poder ver la variación de los resultados, en este caso, analizar cómo fluctuaría el cambio climático.

En este punto vamos a analizar el funcionamiento del modelo DICE (Modelo Dinámico Integrado de Clima y Economía). Es un modelo analítico y empírico, desarrollado por Nordhaus, que integra la economía, la política y la geofísica con el cambio climático. Este modelo integra además la emisión de gases de efecto invernadero (GEI), la concentración de los mismos, y la presencia de carbono en la atmósfera. También tiene en cuenta la temperatura de la tierra y los fenómenos meteorológicos. Además del modelo DICE, Nordhaus hace referencia al modelo RICE (Modelo Regional Integrado de Clima y Economía), se trata del mismo modelo, con la peculiaridad de que la población, emisiones, producción, los daños ambientales y la mitigación tienen una estructura regional.

El modelo DICE considera la economía del cambio climático desde el punto de vista de la teoría del crecimiento económico, de corte neoclásico, basado en inversiones de capital y tecnología, para conseguir crecimiento económico. Es decir, basado en la reducción del consumo actual con el objetivo de aumentar el consumo futuro (Solow 1956). En el modelo DICE, Nordhaus introduce el capital natural dentro de esta teoría neoclásica, es decir, tiene en cuenta el medioambiente y considera que las emisiones de GEI son una variable negativa para este crecimiento, por lo que la reducción de esas emisiones, son consideradas una inversión en capital natural.

Llega a la conclusión de que invirtiendo en una tecnología que reduzca las emisiones de GEI, se reduce el consumo actual de la economía y los daños al medioambiente, lo que asegura un mayor consumo futuro y por tanto crecimiento económico. La particularidad de este modelo, es que permite sopesar beneficios y costes con las diferentes alternativas de toma de decisiones políticas, para así poder reducir los efectos del calentamiento global.

Es importante tener en cuenta que los cambios que se producen en este escenario son a largo plazo, las políticas o decisiones que se toman, no presentan tendencias o cambios en el corto plazo, cuando nos referimos al cambio climático.

#### 4.3.1. Análisis matemático del modelo DICE

El modelo DICE se divide en 3 módulos de ecuaciones: función bienestar, módulo económico y módulo geofísico.

Los módulos económico y geofísico interactúan entre sí bajo el supuesto de que el objetivo es maximizar la función de bienestar social.

El modelo DICE, plantea que las diferentes políticas que se apliquen aumenten el consumo presente y futuro. Cabe destacar que el consumo no sólo se refiere a bienes y servicios, sino que tiene en cuenta todo aquello que está relacionado con el consumo ambiental.

### **FUNCIÓN OBJETIVO O FUNCIÓN BIENESTAR**

Las hipótesis de este enfoque sobre la función de bienestar son las siguientes:

- Las personas prefieren más consumo a menos.
- El consumo tiene una utilidad marginal decreciente, es decir, que la utilidad que le reporta a los individuos el consumo aumenta, pero menos que proporcionalmente.

La función objetivo o de bienestar se divide en los siguientes componentes:

$$W = \sum_{t=1}^T U[c(t), L(t)]R(t)$$

Donde  $U[c(t), L(t)] = L(t) \frac{c(t)^{1-\lambda}}{1-\lambda}$  es la función de utilidad, y es el producto entre la población y la inversa de la elasticidad del consumo.

La función de utilidad depende de dos variables y un parámetro:

- Población de la economía  $L(t)$  en un determinado momento  $t$ . Es una variable exógena, un factor externo que incide en la economía, pero que no podemos controlar.

- Consumo per cápita  $c(t)$  en un momento  $t$ , definido como la relación entre consumo agregado y la población total  $c(t) = \frac{C(t)}{L(t)}$
- La inversa de la elasticidad del consumo,  $\lambda$ .

Estamos ante un modelo de optimización dinámica. La función objetivo a maximizar es la suma de utilidad o bienestar, multiplicado por el factor de descuento, a lo largo de un horizonte temporal,  $T$ , que puede ser finito o infinito. Esta función de utilidad representa el bienestar en un determinado momento, con una población  $L(t)$ .

El factor de descuento  $R(t)$ , mide la utilidad extra que debe conseguirse en el futuro para que un consumidor renuncie a consumir en el presente.

$$R(t) = e^{-\rho * t}$$

donde  $\rho$  es la tasa de descuento, mide la preferencia por el consumo presente frente al consumo futuro. Desde la perspectiva del momento actual, la utilidad del consumo va disminuyendo con el paso del tiempo, sin llegar a 0, porque a pesar de que el consumo presente se valora más que el futuro, este no deja de tener valor. Cuanto mayor es la tasa de descuento,  $\rho$ , más se valora el consumo presente frente al consumo futuro. Esta tasa de descuento nos indica cuánto se valoran las generaciones futuras. Si  $\rho$  es muy grande, se valora mucho más el consumo presente que el futuro, por lo que se compromete el consumo de las generaciones futuras.

## MÓDULO ECONÓMICO

El objetivo de este módulo económico, es interpretar cómo la sociedad toma sus decisiones. Las decisiones de consumo e inversión, dependen de la utilidad y de la producción. La cantidad producida que no se consume se destina a ahorro e inversión, y por simplicidad, se considera que el ahorro es igual a la inversión. Estas decisiones de consumo, ahorro e inversión dependen de las preferencias de cada individuo. En este punto es importante tener en cuenta las emisiones de  $\text{CO}_2$ , ya que vinculan la actividad productiva y por tanto las decisiones empresariales, con el medioambiente.

Por otro lado, la producción depende de la mano de obra, es decir, del volumen de la población, y también depende del capital del que se disponga.

La producción global de un país es lo que denominamos PIB (producto interior bruto). Partimos de la siguiente ecuación de distribución de la renta:

$$Y(t) = C(t) + I(t) + G(t) + Nx(t)$$

El modelo DICE supone que la economía es cerrada, no hay movimiento de capitales, y además, añade la hipótesis de que el sector público no realiza gasto, por lo que de ahora en adelante vamos a suponer que la producción global se basa únicamente en consumo  $C(t)$  e inversión  $I(t)$ .

$$Y(t) = C(t) + I(t)$$

Como hemos comentado con anterioridad, el modelo DICE considera la economía del cambio climático desde el punto de vista de la teoría del crecimiento económico, de corte neoclásico.

Utiliza para su estudio la función de producción Cobb-Douglas:

$$Y(t) = A(t) * K(t)^\alpha * L(t)^\beta,$$

donde:  $k(t)$  es el stock de capital,  $L(t)$  es el factor trabajo,  $A(t)$  es la tecnología,  $\alpha$  es la proporción o el peso del capital en una economía y  $\beta$  es la proporción o el peso del trabajo en una economía.

Se asume que la variación de la producción es proporcional a la variación de los factores, es decir, que la suma de  $\alpha$  y  $\beta$  es igual a la unidad. Esto se denomina, rendimientos constantes a escala. Bajo este supuesto  $\beta = 1 - \alpha$ , la función de producción es la siguiente:

$$Y(t) = A(t) * K(t)^\alpha * L(t)^{1-\alpha}$$

En este punto, entra en juego la interacción entre el módulo económico y el módulo geofísico. Vamos a tener dos funciones relacionadas entre sí, que son la función de daños climáticos  $\Omega(t)$  y la función de mitigación  $\Lambda(t)$ .

La función de daños climáticos, mide las consecuencias económicas derivadas del cambio climático. La función de mitigación, mide el coste de reducir las emisiones. Ambas se miden como una ratio de la producción total.

El objetivo es reducir los daños climáticos, y para ello, a través de la función de mitigación se contemplan los cambios en el consumo energético y la reducción de las emisiones, para que finalmente, a través de la función de daños climáticos, se puedan observar los efectos de esas reducciones.

Para incluir estas funciones, se modifica la función Cobb-Douglas, para que el cambio climático tenga cabida en la economía. La producción agregada, es la producción menos los costes de mitigación y menos los daños climáticos.

$$Y(t) = [1 - \Omega(t)] * [1 - \Lambda(t)] * A(t) * K(t)^\alpha * L(t)^{1-\alpha}$$

$1 - \Omega(t)$  es la proporción de renta que se pierde debido a la existencia de cambio climático. Si no hubiese cambio climático  $\Omega(t) = 0$  la renta no se vería afectada por los daños climáticos, esta variable se encuentra entre los valores 0 y 1, siendo  $\Omega(t) = 1$  el peor de los casos. Cuanto mayor es el cambio climático,  $\Omega(t)$  aumenta, aumentando así la proporción de renta que se pierde por el cambio climático.

$\Lambda(t)$  es el esfuerzo o coste que se realiza para mejorar la situación futura. Cuanto mayor es  $\Lambda(t)$  mayor es el coste de mitigación y menor será la producción. Esta mitigación reducirá los daños ambientales,  $\Omega(t)$ , futuros.

La acumulación del stock de capital, viene dada por la renta que no se consume:

$$\dot{k}(t) = Y(t) - C(t) - \delta t = [1 - \Omega(t)] [1 - \Lambda(t)] * A(t) * K(t)^\alpha * L(t)^{1-\alpha} - c(t) - \delta t$$

donde  $\delta$  es la tasa de depreciación del capital<sup>1</sup>.

## MODULO GEOFÍSICO

Esta parte del modelo DICE de W. Nordhaus incide en aquellos aspectos que afectan al cambio climático y que se relacionan con la economía. El módulo geofísico estudia cómo la actividad económica repercute en el medioambiente, aumentando la temperatura del planeta. Este aumento de las temperaturas se debe a las emisiones de CO<sub>2</sub>.

---

<sup>1</sup>  $\dot{k}(t) = \frac{dk(t)}{dt}$

Anteriormente en el módulo económico nos referíamos a las emisiones de CO<sub>2</sub> cuando hablábamos de las decisiones empresariales en sus procesos productivos, ese es el nexo de unión entre ambos módulos.

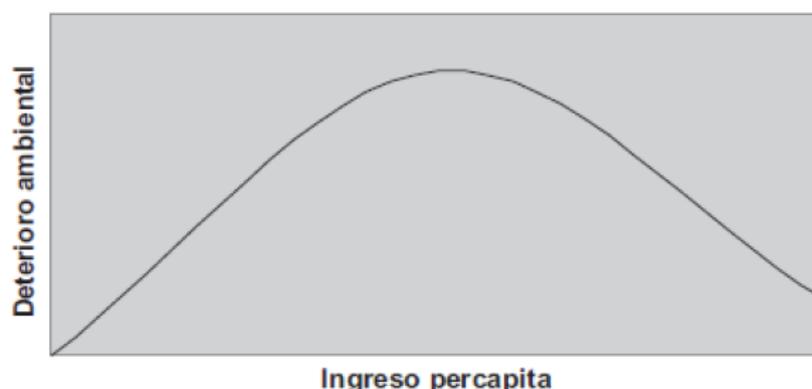
En este caso, además de tener en cuenta las emisiones industriales como consecuencia de los procesos productivos, hay que añadir las emisiones que proceden del uso de los recursos naturales por parte de la actividad del hombre, como el cultivo de las tierras o la deforestación.

La presencia de carbono en la atmósfera, biosfera u océanos, hace que aumente la temperatura tanto de la tierra como de los propios océanos, como hemos comentado anteriormente en el punto 3.

W. Nordhaus plantea la idea de que, a mayor producción, daños climáticos más severos. El módulo económico y geofísico se pueden unir en lo que conocemos como la “curva ambiental de Kuznets”. Es importante aclarar que se trata de una teoría, y además una teoría controvertida, apoyada por algunos trabajos empíricos y teóricos, pero también puesta en duda por numerosos autores. Esta teoría relaciona la calidad ambiental con el crecimiento económico.

En el corto plazo, el crecimiento económico genera cada vez mayor deterioro de la calidad ambiental, pero a medida que las economías llegan a mayores niveles de desarrollo, ese crecimiento continuo, en el largo plazo no es tan perjudicial para el medioambiente. Esta situación la podemos ver representada en la siguiente imagen, que refleja cómo varía la calidad ambiental respecto al ingreso per cápita.

**Curva Ambiental de Kuznets**



El máximo que alcanza la curva es el punto crítico. En este punto los individuos, ya con un nivel de vida aceptable, comienzan a preocuparse más por el mantenimiento del medioambiente, mientras la economía sigue creciendo.

Para ver los resultados de la aplicación de este modelo, Nordhaus plantea varios escenarios, para ello toma como referencia:

Un escenario base (Business As Usual BAU): En este escenario no se aplica ninguna política de reducción de GEI, ni de lucha contra el cambio climático.

Este es el escenario base que trata de dar una visión sobre qué pasaría si dejamos que el calentamiento global, siga su curso y seamos los individuos quienes nos adaptemos a los cambios que de él se derivan, sin poner ninguna limitación.

Propone además varios escenarios en los que sí se toman medidas para frenar el cambio climático:

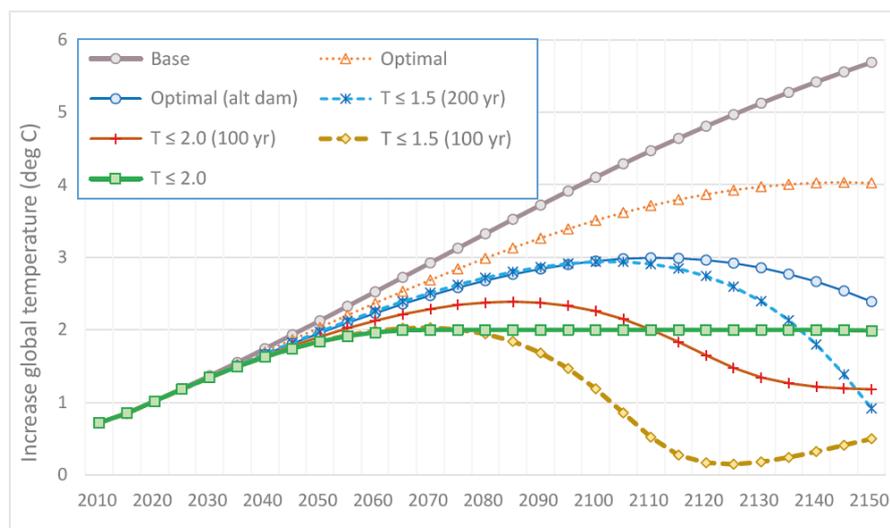
El escenario óptimo (coste-beneficio): el óptimo social se alcanza si los países acceden que haya un planificador que imponga las pautas para la reducción de emisiones de GEI con el objetivo de maximizar el bienestar social de todos.

En los siguientes escenarios no se busca únicamente el bienestar social, sino maximizar el bienestar sujeto a que la temperatura no aumente en las cifras que se proponen. Ese bienestar no será un first-best, puesto que exige que se cumpla un determinado objetivo ambiental. Los escenarios son los siguientes:

- Limitar el aumento de la temperatura en 1,5°C en los próximos 100 años.
- Limitar el aumento de la temperatura en 1,5°C en los próximos 200 años.
- Limitar el aumento de la temperatura en 2,0°C en los próximos 100 años.
- Limitar el aumento de la temperatura en 2,0°C en los próximos 200 años.

En el siguiente gráfico, extraído de la presentación Climate Change: The Ultimate Challenge for Economics, utilizado por W. Nordhaus para su recogida del premio nobel de economía en 2018, nos muestra la tendencia de cada escenario y la incidencia de las políticas ambientales. Analiza cómo varía la temperatura con el paso del tiempo dependiendo del escenario planteado.

## TRAYECTORIAS DE LA TEMPERATURA EN LAS DIFERENTES POLÍTICAS



Se aprecia de forma muy evidente que en el escenario base, en el que no se lleva a cabo ninguna política, la temperatura del planeta aumenta de forma considerable. Por otro lado, en el escenario óptimo, a pesar de que se establecen políticas, éstas no son suficientes como para asegurar un aumento moderado de las temperaturas, por debajo de los 2°C.

El escenario en el que los países toman medidas para que la temperatura no aumente más de 1,5°C en los próximos 100 años, consigue su nivel más bajo en torno al 2120, año en que se comienzan a observar los primeros efectos positivos de la limitación del aumento de la temperatura en 2,0°C en los próximos 100 años.

Cabe destacar que las tendencias alcistas vienen marcadas por las emisiones de años anteriores que no han sido limitadas con ningún tipo de política consistente. Esto se refleja en la actualidad y se reflejará en años posteriores, porque los efectos de las políticas ambientales son observables a largo plazo, y más cuando la situación parte de unos niveles elevados.

## CONCLUSIONES

En la actualidad el cambio climático es un problema muy importante ante el que es necesario actuar, pues nos afecta de forma directa. Es la mayor externalidad medioambiental. Afecta a muchas actividades del día a día y a todo el planeta. Para hacer frente a esta degradación del planeta tenemos que actuar en conjunto, pues la actuación individual nos lleva a mirar por los intereses individuales y no por el bien de la sociedad. Esta es la predicción en teoría de juegos del dilema del prisionero. Es necesaria una participación conjunta para poder crear políticas públicas que frenen el cambio climático e intentar reducir al mínimo, e incluso eliminar, el comportamiento del gorrón (free riders).

El modelo energético actual está fuertemente basado en la quema de combustibles fósiles que genera altos niveles de contaminación. El aumento de las temperaturas y por lo tanto la escasez de agua, hace que la generación de energía hidroeléctrica sea más complicada. El hecho de que haga más calor, conlleva que haya menos viento, viéndose así afectada la energía eólica. Estos efectos empeoran la calidad del aire, lo que afecta también a la salud de forma directa. Podríamos extraer que el modelo energético tiene dificultades para evolucionar hacia procesos energéticos más limpios.

La conclusión más directa que podemos extraer del modelo de crecimiento económico y medioambiente presentado en el modelo DICE de William Nordhaus, es que el calentamiento global puede y debe analizarse conjuntamente con la economía y las medidas de política económica. El efecto del calentamiento global se incluye en el PIB de la economía a través de la función de daños y de la mitigación, por lo que se tiene en cuenta cuantitativamente para poder diseñar, de forma más objetiva, las diferentes políticas climáticas.

Otra de las conclusiones de la aportación de W. Nordhaus al cambio climático, es que es necesaria la actuación de los gobernantes de las diferentes economías, aplicando políticas de reducción de GEI que frenen el calentamiento.



Estas políticas deben ser unas políticas consensuadas, que involucren y comprometan al mayor número posible de países a través de la creación de clubes, para evitar los free-riders y que realmente sean sancionados aquellos que no cumplen con sus compromisos.

## BIBLIOGRAFÍA

- Farrás, E. (2018): «La basura plástica es también culpable del cambio climático», La Vanguardia.
- Johnson, DL, SH Ambrose, TJ Bassett, ML Bowen, DE Crummey, JS Isaacson, DN Johnson, P. Lamb, M. Saul y AE Winter-Nelson (1997). "Significados de los términos ambientales". Revista de Calidad Ambiental. 26, pp. 581–589.
- Lavandeira, X., Leon, C. y Vázquez, M.X. (2007): *Economía ambiental*. Editorial Pearson, España.
- Meira, P.A., Arto, M. y Montero, P. (2009): «La sociedad ante el cambio climático. Conocimientos, valoraciones y comportamientos en la población española», Fundación Mapfre, 3, pp. 54-56.
- Mochon, F. (2019): *Introducción a la macroeconomía*. Editorial S.A McGraw-Hill / Interamericana de España, España.
- Nordhaus, W. (2015): «Climate Clubs: Overcoming Free-Riding in International Climate Policy», *American Economic Review*, 105, pp. 1339-70.
- Nordhaus, W. (2018): «Climate Change: The Ultimate Challenge for Economics», *The Nobel Prize*.
- Nordhaus, W. y Sztorc, P. (2013): «DICE 2013R: Introduction and User's Manual», University of Yale, 3, pp. 6-22.
- Ojea, L. (2018): «Imágenes y datos: así nos afecta el cambio climático», *Greenpeace*, 3, pp. 12-59.
- Ostrom, E. (2011): *El gobierno de los comunes. La evolución de las instituciones de acción colectiva*. Editorial Fondo de Cultura Económica, México
- Ruiz, M. (2017): «Análisis del funcionamiento del modelo DICE y su aplicación a la economía del cambio climático», Universidad de Cantabria, 4, pp. 23-78.
- Wagner, G. y Weintzman, M. (2016): *Shock climático. Consecuencias económicas del calentamiento global*. Editorial Antoni Bosch editor.